ORSAY
Série A,
N° d'ordre :
240

THESE

PRESENTEE

A L'UNIVERSITE DE PARIS-SUD
CENTRE D'ORSAY

POUR OBTENIR

LE TITRE DE DOCTEUR INGENIEUR

par

Jacques MILLAUD

DEFINITION, ACQUISITION ET TRAITEMENT DE L'INFORMATION ISSUE D'UN ENSEMBLE DE DETECTEURS A CHAMBRES A FILS

Soutenue le 29 avril 1975, devant la Commission d'Examen

MM.	J.C.	BIZOT	Président
	A.	BUSSIERE DE NERCY	
	R.	CHAMINADE	Examinateurs
	L.	MASSONNET	

ORSAY
Série A,
N° d'ordre :
240

THESE

PRESENTEE

A L'UNIVERSITE DE PARIS-SUD
CENTRE D'ORSAY

POUR OBTENIR

LE TITRE DE DOCTEUR INGENIEUR

par

Jacques MILLAUD

DEFINITION, ACQUISITION ET TRAITEMENT DE L'INFORMATION ISSUE D'UN ENSEMBLE DE DETECTEURS A CHAMBRES A FILS

Soutenue le 29 avril 1975, devant la Commission d'Examen

MM.	J.C.	BIZOT	Président
	A.	BUSSIERE DE NERCY	
	R.	CHAMINADE	Examinateurs
	L.	MASSONNET	

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

M. le Professeur Bizot me fait l'honneur de présider un jury de thèse auquel MM. A. Bussière, R. Chaminade et L. Massonnet ont bien voulu apporter leur collaboration.

M. C. Tzara, en m'accueillant au sein du groupe de physique de l'accélérateur linéaire de Saclay, m'a permis de m'initier aux techniques de la prise d'informations en physique nucléaire. M. P. Catillon, Chef du Service de Physique nucléaire à Haute Energie, m'a encouragé à présenter ce travail et m'a éclairé de ses conseils.

La collaboration avec Mlle M. Bernheim, MM. J.B. Bellicard, A. Bussière de Nercy, P. Leconte, J. Mougey, Phan X.H., M. Priou et D. Royer membres des équipes de diffusion d'électrons ainsi qu'avec le groupe d'études et de réalisation des chambres à fils dirigé par C. Grunberg s'est révélée particulièrement fructueuse.

L'ensemble électronique a bénéficié du support particulièrement efficace de MM. E. Auriol, J. Dupont, M. Lefebvre et G. Lemarchand tant au stade de la réalisation qu'à celui des contrôles.

Enfin la présentation et l'impression de cet ouvrage sont dues aux mérites de Mme P. Gugenberger et de ses collaboratrices.

Je suis particulièrement heureux, en rappelant ici les concours dont j'ai bénéficié, de remercier toutes les personnes qui, à des titres divers, ont permis la réalisation et la présentation de ce travail.

Qu'il me soit permis enfin de rappeler ici le souvenir d'A. Tomasso et la contribution déterminante qu'il apporta à la réalisation de la salle expérimentale pour laquelle a été étudié le système d'acquisition et de traitement présenté dans le présent volume.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41548126_0029

Table des Matières

Chapitre I - GENERALITES SUR LES EXPERIENCES EN SALLE HE1 2

I.1. Expériences envisagées en salle HE1 2

I.1.1. Expériences de diffusion élastique (e,e') 2

I.1.2. Expériences de diffusion quasi-élastique (e,e'p) 4

I.2. Complexité croissante des expériences 10

Chapitre II - LE CAHIER DES CHARGES 12

II.1. Caractéristiques générales de l'équipement en salle HE1 12

II.1.1. L'accélérateur 12

II.1.2. Transport de faisceau et implantation des spectromètres 12

II.1.3. Conditions générales d'exploitation des expériences . 13

II.2. Caractéristiques générales de l'appareillage d'analyse magnétique 13

II.3. Contraintes liées aux expériences 15

II.3.1. Expériences de diffusion élastique 16

II.3.2. Expériences de diffusion quasi-élastique 16

II.4. Choix a priori des chambres à fils 17

II.4.1. Détecteurs utilisables 17

II.4.2. Critères 17

II.5. Utilisation d'un calculateur d'acquisition 18

II.5.1. Matériel existant 18

II.5.2. Tâches attribuées à l'ordinateur 18

II.6. Fiabilité 19

II.7. Coût du système 19

Chapitre III - CONSEQUENCES DU CAHIER DES CHARGES 20

III.1. Structure du détecteur 20

III.1.1. Expériences (e,e'p) amélioration de la résolution en impulsion 20

III.1.2. Chambres à fils : conséquences et conditions de leur utilisation 23

III.1.3. Structure du détecteur 29

III.2. Problèmes posés par le taux de comptage 31

III.2.1. Influence de comptages élevés au niveau chambres .. 31

III.2.2. Influence du taux de comptage au niveau des détecteurs rapides 33

III.2.3. Influence des taux de comptage sur l'électronique associée aux chambres 34

III.2.4. Influence du taux de comptage sur l'entrée en ordinateur 35

III.3. Le bruit de fond particules 37

III.3.1. Nécessité du rejet du bruit de fond particules 37

III.3.2. Lignes directrices pour le rejet du bruit de fond . 38

III.4. Expériences (e,e'p) : reconstitution des événements corrélés 42

III.5. Le traitement en ligne de l'information 43

III.5.1. Traitement externe/traitement interne 43

III.5.2. Liste minimale des opérations à effectuer en temps réel pour une expérience (e,e') 45

III.5.3. Liste minimale des opérations à effectuer en temps réel pour une expérience (e,e'p) 46

III.5.4. Conclusion du paragraphe III.5. 46

III.6. Flexibilité de mise en oeuvre, d'emploi, de maintenance 47

III.7. L'approche des problèmes du coût 48

III.7.1. Au niveau conception global 49

III.7.2. Au niveau de la partie électronique 49

III.7.3. Au niveau connectique 50

III.8. Conclusions et récapitulation du chapitre III 50

Chapitre IV 55

IV.1. L'ensemble de détection 56

IV.1.1. L'analyse des plans E et X 56

IV.1.2. Les plans de détection rapide 59

IV.1.3. Conclusions sur le paragraphe IV.1.2. 67

IV.2. L'information à traiter 67

IV.2.1. Evaluation du volume d'information nécessaire à la description d'un événement 67

IV.2.2. Le problème du format 70

IV.2.3. Traitement interne, traitement externe 72

IV.2.4. Description des fonctions externes utilisées 74

IV.2.5. Choix du mode d'entrée des données dans l'ordinateur 84

IV.2.6. Conclusions sur le paragraphe IV.2. 86

IV.3. La prise d'information sur les chambres 87

IV.3.1. Description des différentes méthodes de codage "fil à fil" 87

IV.3.2. Choix d'une structure de codage 94

IV.4. Récapitulatif des performances et limitations de principe des choix effectués 100

IV.5. Structure de l'ensemble électronique 101

IV.5.1. Décomposition fonctionnelle de la prise d'information chambre et détecteurs rapides 101

IV.5.2. Structure de l'interface ordinateur 111

IV.6. Conclusions sur l'ensemble du système de prise d'informations 115

IV.6.1. Taux de comptage 115

IV.6.2. Le rejet du bruit de fond 117

IV.6.3. Maintenabilité 119

IV.6.4. Contre-réaction sur l'expérience. Possibilités de traitement en ligne 119

Chapitre V - TRAITEMENT EN TEMPS REEL 120

V.1. Rappels sur le matériel d'acquisition et de traitement de l'information 121

V.1.1. L'ordinateur 121

V.1.2. Développement de périphériques spéciaux 122

V.2. Programme relatif à une expérience (e,e'p) 123

V.2.1. Analyse du traitement 123

V.2.2. Déroulement de l'expérience du point de vue traitement de l'information 128

V.2.3. Quelques aspects de la réalisation du programme (e,e'p) 131

V.3. Annexe : schéma de l'analyse d'un événement simple 132

Chapitre VI - QUELQUES ASPECTS DE LA REALISATION DE LA PARTIE ELECTRONIQUE 141

VI.1. La chaîne amplificateur, précodage, mémorisation : structure et limitations 141

VI.1.1. Amplification et précodage 141

VI.1.2. Problèmes d'échantillonnage en mémoire tampon 149

VI.2. Problèmes généraux de spécification 151

VI.2.1. Au niveau des circuits intégrés 151

VI.2.2. Au niveau d'ensembles fonctionnels 151

VI.2.3. Systèmes de tests 152

VI.3. Caractéristiques générales 153

VI.3.1. Implantation 153

VI.3.2. Puissance consommée 153

Chapitre VII - QUELQUES RESULTATS 155

VII.1. Le système est opérationnel 155

VII.1.1. Temps nécessaire à la mise en oeuvre 155

VII.1.2. Nombre de voies défectueuses 155

VII.1.3. Pannes 155

VII.2. Réglages et performances de l'ensemble de détection 157

VII.2.1. Mesure de l'efficacité 157

VII.3. Quelques résultats expérimentaux 159

VII.3.1. Expériences (e,e') 159

VII.3.2. Expériences (e,e'p) 160

VII.4. Conclusions et perspectives 161

VII.4.1. Conclusions 161

VII.4.2. Aspects prospectifs 163

La définition du cahier des charges de l'ensemble de détection HE1 a commencé fin 1970. Les premières expériences de détection utilisant cet appareillage dans le spectromètre "900" étaient réalisées en juillet 1973. L'équipement complet de ce spectromètre est opérationnel depuis la fin de 1973.

Les méthodes de prises de l'information issue de chambres à fils ont fait de grands progrès, tout au long de cette période, quant à la résolution spatiale et à la simplicité de l'électronique associée. La technologie électronique offre maintenant des possibilités incomparablement supérieures à celles disponibles au moment du choix. Il en est ainsi pour tous les projets liés à un secteur où l'évolution technologique est d'importance primordiale. L'impression de quasi obsolescence technologique qui peut se dégager est cependant atténuée si l'on veut bien prendre en compte le temps nécessaire au développement d'un tel système et les évolutions des spécifications qui accompagnent tous projets de ce type.

Chapitre I

GENERALITES SUR LES EXPERIENCES EN SALLE HE1

I.1. EXPERIENCES ENVISAGEES EN SALLE HE1.

La salle expérimentale HE1 de l'accélérateur AL 300 de Saclay est orientée vers la réalisation d'expériences de diffusion élastique ou inélastique d'électrons. Elle est équipée de deux spectromètres magnétiques permettant l'analyse en impulsion des particules diffusées ou en coïncidences.

La figure I.1.1. représente l'allure générale d'un spectre d'électrons diffusés. La portion du spectre marquée I correspond à la gamme d'énergie intéressant la diffusion élastique et inélastique (e,e'). La portion marquée II ou diffusion quasi élastique sur les nucléons liés dans le noyau correspond à la plage d'analyse intéressant les expériences de diffusion quasi-élastique (e,e'p).

I.1.1. Expériences de diffusion élastique.

Les expériences de diffusion élastique visent à déterminer la distribution de charge dans le noyau. La section efficace dans l'approximation de Born est décrite par :

$$\sigma = \sigma_{Mott} \left(F_L^2(q) + k(\theta) F_T^2(q) \right)$$

σ_{Mott} est la section efficace de diffusion d'un électron sur un noyau supposé ponctuel. $q = f(E,\theta)$ définit le transfert d'impulsion. $F_L(q)$ et $F_T(q)$ sont les composantes coulombienne (longitudinale) et magnétique (transverse) du facteur de forme. $k(\theta)$ est un facteur cinématique.

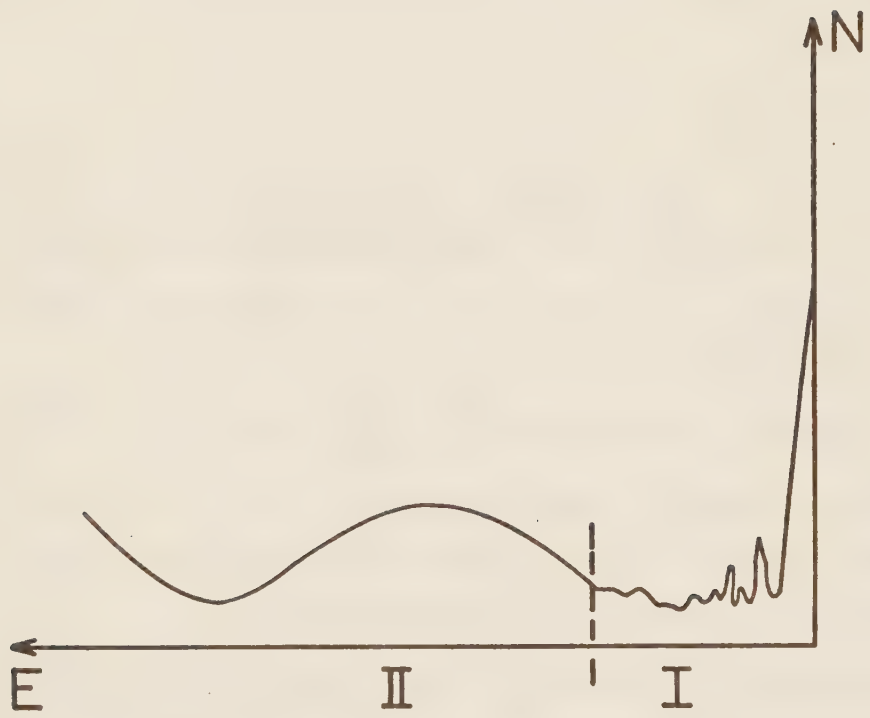


Fig. I.1.1

Dans le cas des noyaux pairs-pairs $F_T(q) = 0$, la distribution de charge dans le noyau est la transformée de Fourier de $F_L(q)$. A haut transfert la section efficace décroît sensiblement, il est donc nécessaire de disposer d'une bonne réjection du bruit de fond de particules. Pour les autres noyaux la nécessité de séparer les différents niveaux du pic élastique, afin de reconstituer ce dernier, implique de disposer d'une bonne résolution. Par ailleurs l'évaluation des comptages sous chaque pic permet de mesurer le taux de transition du niveau correspondant. Les figures I.1.2. (a et b) donnent la forme générale d'une distribution de charge et de la section efficace.

Dispositifs expérimentaux utilisés pour les expériences (e, e').

Les références [1-5] donnent une liste très partielle des expériences (e,e') réalisées à Orsay, Stanford, Mayence, au NBS et à Saclay.

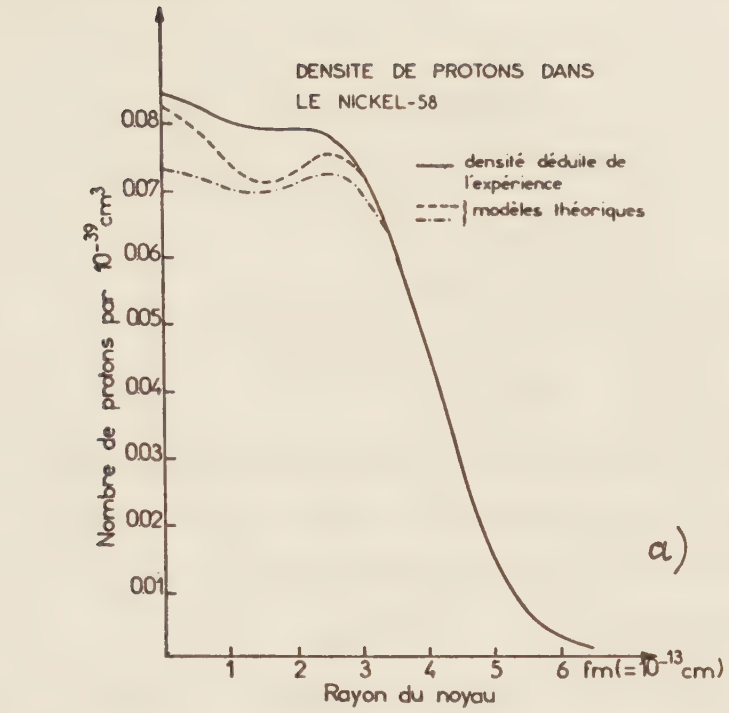
Le dispositif de mesure d'énergie est constitué d'un spectromètre magnétique et d'un détecteur localisant la particule diffusée dans le plan focal [6-9]. Des scintillateurs plastiques ont été utilisés à Orsay, Stanford, Mayence ; des détecteurs semiconducteurs au NBS (48 jonctions) et Saclay (40 jonctions) ; des chambres à fils à Stanford et à Saclay (64 voies).

Apport du dispositif expérimental en salle HE1.

Le spectromètre magnétique a été conçu pour des résolutions $\Delta p/p$ atteignant 2×10^{-4}. Le système de détection doit conserver cette valeur et permettre l'analyse à haut transfert.

I.1.2. Expériences de diffusion quasi-élastique d'électrons (e,e'p).

Ce sont des expériences de diffusion inélastique d'électrons avec émission d'un proton. Ces expériences permettent de déterminer i) l'impulsion qu'avait, dans le noyau, le proton diffuseur ; ii) l'énergie de liaison de ce proton dans le noyau. Elles permettent donc de "sonder" l'état d'un proton dans le noyau.



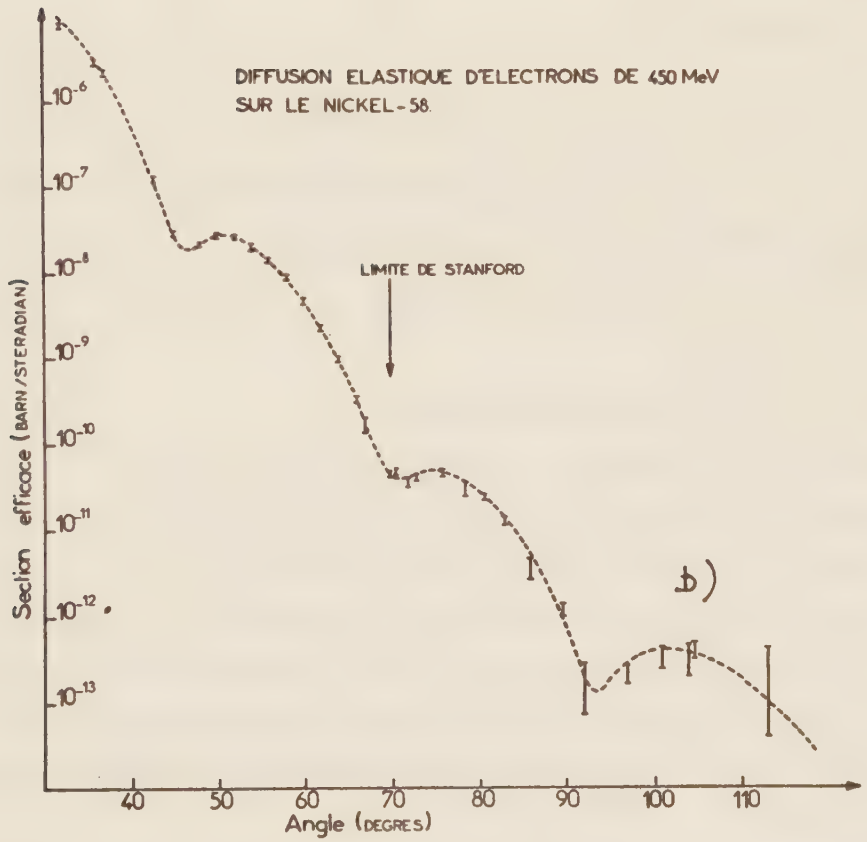


Fig. I.1.2

a) Distribution de charge
b) Section efficace sur le ^{58}Ni

La réaction se schématise selon le diagramme de la figure I.1.3 .

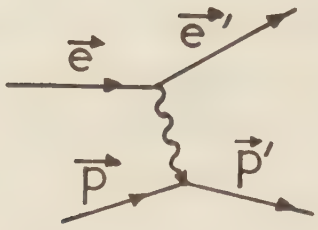


Fig. I.1.3. Réaction (e,e'p)

L'expérience repose sur l'approximation d'impulsion qui implique que le photon virtuel réagisse avec un seul proton du noyau. La réaction est déterminée par les équations (I) et (II)

. bilan d'impulsion $\vec{e} - \vec{e'} - \vec{p'} = \vec{p}_{A-1} = -\vec{p}$ (I)

$\vec{p}_{A-1}$ est l'impulsion de recul du noyau résiduel, $\vec{p}$ est l'impulsion du proton dans le noyau.

. bilan en énergie $e + M_A = e' + M_{A-1} + \mathcal{E}^* + T_{A-1} + M_p + T_p'$ (II)

$\mathcal{E}$ est l'énergie d'excitation du noyau résiduel.

De la relation (II) on déduit l'énergie manquante ou énergie de liaison du proton dans le noyau :

$$E_M = \mathcal{E}^* + M_{A-1} + M_p - M_A \quad \text{avec} \quad M_{A-1} + M_p > M_A \ . \qquad \text{(IIB)}$$

Les énergies e, e', T_p, sont mesurées.

On peut, à partir des résultats expérimentaux, tracer la section efficace en fonction de l'énergie manquante (Fig. I.1.4). Cette courbe met en évidence une structure. L'existence d'une structure nette sur une plage réduite semble correspondre aux niveaux d'excitation du noyau résiduel. En dehors de cette plage,on ne distingue plus de structure précise ; ceci est probablement lié à la complexité des interactions d'un proton très lié et des nombreuses voies possibles de désexcitation des trous profonds.

La figure I.1.5 représente le classement des coïncidences (e,e'p) en fonction de l'impulsion du proton dans le noyau et de l'énergie manquante. Elle permet de déterminer la distribution d'impulsion dans le noyau. Si l'on suppose que :

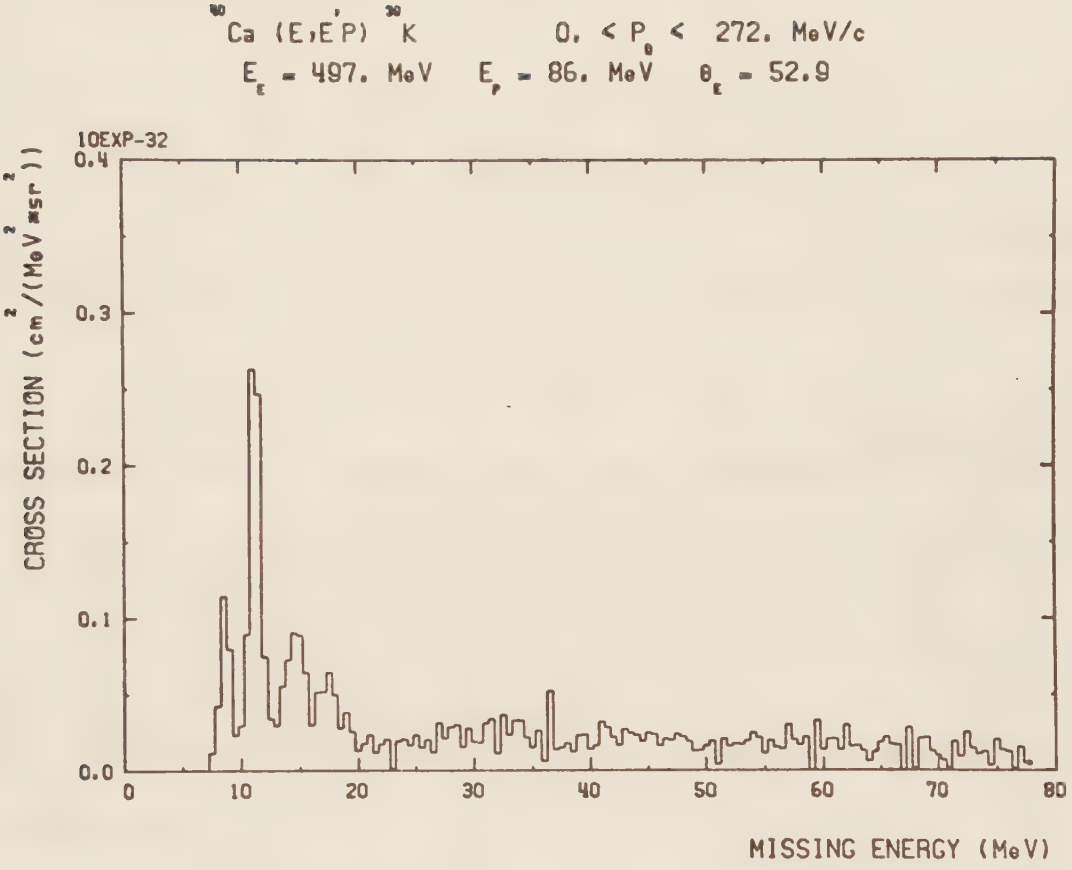


Fig. I.1.4
Spectre d'énergie manquante

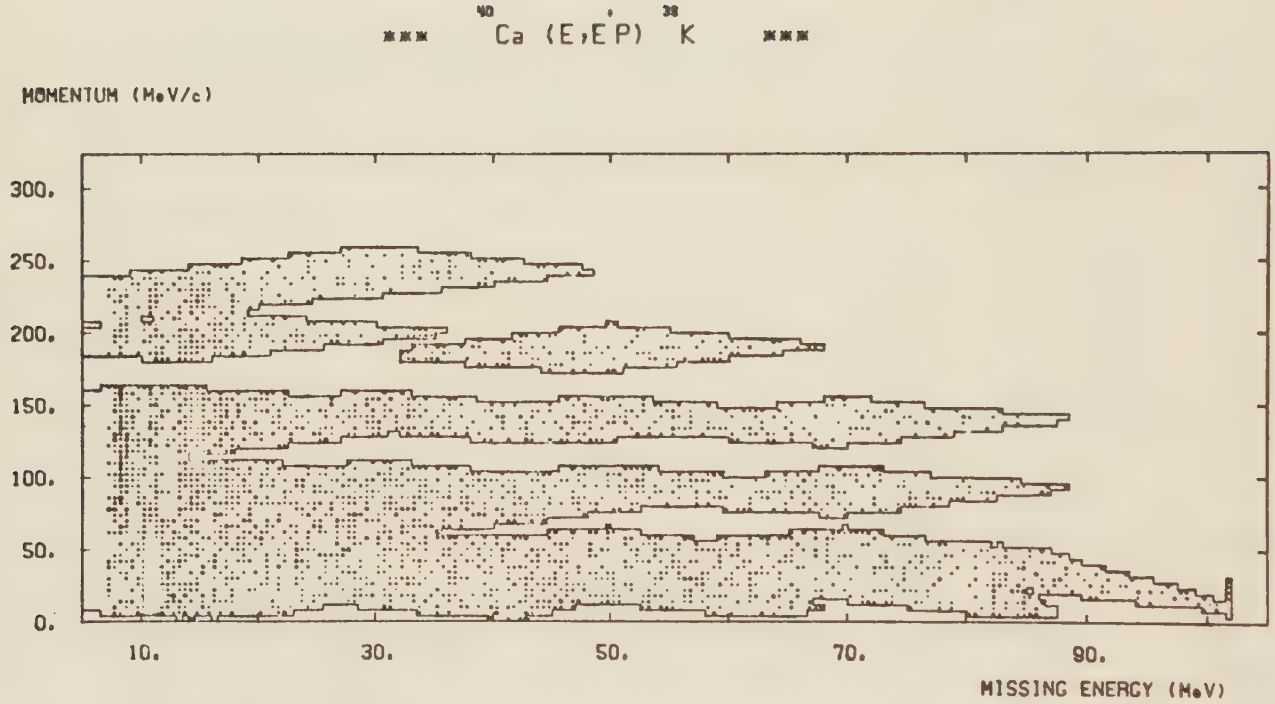


Fig. I.1.5

Classement des coïncidences en (Em,P)

$$\sigma(e,e'p) = K\sigma(e,p)\ P\ (p,E_M)$$

où K est un facteur cinématique, $\sigma(e,p)$ la section efficace de diffusion de l'électron sur le proton libre, $P(p,E_M)$ la probabilité d'éjecter un proton d'impulsion p et d'énergie de liaison E_M et

$$P(p,E_M) = \sum_\alpha |\phi(p)|^2\ \delta(E-E_\alpha) = \sum_\alpha |\phi(p)|^2\ a_\alpha F$$

on peut, en conséquence, retrouver la distribution d'impulsion $\phi(p)$ et par suite la fonction d'onde du proton dans le noyau.

Peu d'expériences (e,e'p) ont été réalisées à ce jour. Les références [10-12] donnent la liste des travaux effectués récemment dans ce domaine à Frascati, Tokyo et Saclay. Les résultats présentés sur les figures I.1.4 et I.1.5 ont été obtenus sur l'AL 300 avec le dispositif expérimental de la salle HE3.

Dispositifs expérimentaux utilisés pour les expériences (e,e'p)

Les expériences de Frascati utilisaient une analyse magnétique pour les électrons et un télescope à protons.

Les expériences réalisées à Tokyo utilisaient un spectromètre, un Čerenkov à gaz et des chambres à étincelles pour la détection de l'électron, une chambre à étincelles pour la détection du proton.

Les expériences de Saclay à l'accélérateur linéaire AL 300 dans la salle HE3 utilisaient deux spectromètres magnétiques "400" et "700" pour l'analyse en impulsion des électrons et des protons. Les détecteurs associés à chaque spectromètre comprennent deux plans de chambres à fils associés à deux plans de détecteurs rapides constitués de scintillateurs plastiques [13].

Apport de la salle HE1 aux expériences (e,e'p)

Le tableau ci-dessous compare les caractéristiques d'analyse pour les expériences précitées et les prévisions pour la salle HE1 .

	Frascati	Tokyo	Saclay HE3	Saclay HE1
Résolution en impulsion sur l'électron	6 MeV/c	2 MeV/c	$1,1 \times 10^{-3} p_o$	$8 \times 10^{-4} p_o$
Résolution en impulsion sur le proton	3 MeV/c	#2 MeV/c	$0,8 \times 10^{-3} p_o$	$4 \times 10^{-4} p_o$
Acceptance en impulsion e	$\pm$ 20 MeV/c	10 MeV/c	$\pm$ 3% p_o	$p_o(-0,3 +0,1)$
Acceptance en impulsion p	3 MeV/c	30 MeV/c	$\pm$ 5% p_o	$\pm$ 5% p_o
Acceptance e angulaire	5 msr	1,5 msr	4,3 msr	6,5 msr
Acceptance p angulaire	(0,15 sr-0,3 sr)	0,3 sr	2,8 msr	5 msr

Entre les expériences de Saclay en HE3 et HE1, le taux de comptage est multiplié par plus de 20 ; la résolution en impulsion est également améliorée.

I.2. COMPLEXITE CROISSANTE DES EXPERIENCES.

La comparaison des performances d'analyse pour les différentes expériences citées en référence met en évidence deux tendances principales : i) amélioration de la résolution ; ii) élargissement de la gamme d'analyse et plusieurs orientations "secondaires" en ce sens qu'elles reflètent le souhait de rendre plus rapide et plus aisée l'acquisition des données soit : continuité de la détection dans le plan d'analyse, accroissement du taux de comptage et traitement en temps réel de l'information.

L'accroissement des performances du système de détection se traduit par des efforts technologiques et techniques importants souvent novateurs dans le secteur considéré.

Le grand nombre de canaux de détection, quotient de la gamme d'analyse par la résolution souhaitée, la nature plus complexe de l'information relative à un événement nucléaire, l'extraction du signal utile du bruit de fond ambiant, la nécessité, enfin, de fournir à l'expérimentateur une information directement exploitable, imposent une conception plus globale du système de détection : des détecteurs à l'ordinateur temps réel.

L'introduction de l'ordinateur temps réel dans un système de détection et d'acquisition ne pose pas seulement des problèmes de logistique dont un volet important est la formation du personnel mais, de toute évidence, celui du compromis entre la tâche qu'il serait souhaitable de lui confier, ce qui est absolument nécessaire au déroulement de l'expérience,et la vitesse maximale d'acquisition d'événements nucléaires.

Les chapitres suivants ont pour but d'expliquer les choix effectués à partir du "cahier des charges" défini au chapitre II.

Chapitre II

LE CAHIER DES CHARGES

Ce chapitre a pour but de rappeler les conditions et contraintes existant pour l'équipement de détection en salle HE1. Après le rappel de quelques données sur les caractéristiques du faisceau, du système de transport et des conditions générales d'exploitation des expériences, les caractéristiques propres aux spectromètres sont abordées. Les contraintes propres aux expériences sont ensuite étudiées afin de dégager l'esquisse globale des objectifs à atteindre.

II.1. CARACTERISTIQUES GENERALES DE L'EQUIPEMENT EN SALLE HE1.

II.1.1. L'accélérateur.

Accélérateur linéaire à électrons de cycle utile 1 à 2%. La fréquence maximale de récurrence se situe à 1000 Hz. La largeur de l'impulsion est de 10 à 20 µs, un fonctionnement à 2000 Hz est possible dans certaines limites de puissance.

Dynamique de courant moyen (utilisable au niveau des cibles HE1)	: 300 nA - 30 µA
Gamme d'énergie	: 150 MeV - 600 MeV
Largeur en énergie	: 10^{-4}

II.1.2. Transport de faisceau et implantation des spectromètres.

Les caractéristiques du transport de faisceau et de l'implantation des spectromètres "600" et "900" en salle HE1 sont décrites dans les rapports annuels du Département de Physique Nucléaire de 1966 à 1969.

La qualité du transport de faisceau est assurée par un certain nombre de visualiseurs et ferrites. La mesure du champ magnétique des spectromètres est effectuée par une sonde à résonance magnétique nucléaire. Les mesures de champs magnétiques sont enregistrées directement par ordinateur en début de séquence. L'implantation des spectromètres "600" et "900" apparaît sur la figure II.1.1.

II.1.3. Conditions générales d'exploitation des expériences.

1) Le spectromètre "900" est un élément d'analyse commun aux expériences de diffusion élastique (e,e') et de diffusion inélastique (e,e'p).

2) La salle expérimentale HE1 est située à 300 m de la salle d'exploitation des résultats (EXPRESS) ; cette longueur correspond à la longueur des câbles de liaison.

3) La transmission d'informations entre les deux salles (exploitation des résultats et salle HE1) s'effectue par des câbles coaxiaux 50 Ω et des câbles 27 paires torsadées.

4) L'accès aux salles d'expériences est sévèrement réglementé, toute intervention nécessitant la coupure au moins du faisceau pour des interventions courtes et de l'accélérateur pour des interventions plus longues.

II.2. CARACTERISTIQUES DE L'APPAREILLAGE D'ANALYSE MAGNETIQUE.

Remarque 1 : Les expérimentateurs ont préféré l'utilisation de spectromètres à haute résolution à des spectromètres de moindres performances nécessitant une reconstitution des trajectoires des particules.

Remarque 2 : L'analyse en impulsion est effectuée dans le plan focal par la localisation de la particule. L'installation des détecteurs perpendiculairement aux trajectoires aurait nécessité un traitement plus important de l'information.

II.2.1. Le tableau II.2.1 récapitule les caractéristiques essentielles des spectromètres. Le "plan focal" du "900" est en fait une surface courbe.

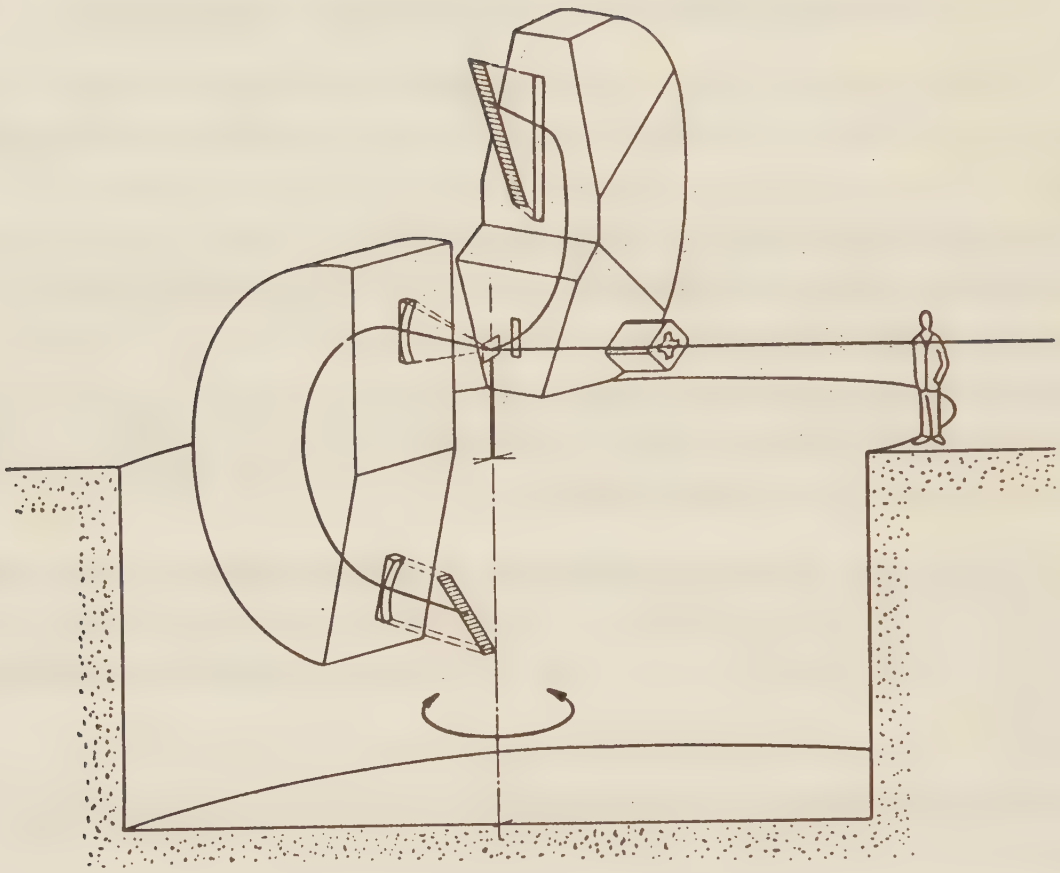


Fig. II.1.1

Spectromètres 600 et 900 MeV/c.
Salle HE1
(Le "900" est dans la fosse)

Tableau II.2.1

Spectromètre	"600"	"900"
Impulsion maximale analysée	630 MeV/c	900 MeV/c
Acceptance en impulsion	(0,7 - 1,1) p_o	(0,95 - 1,05) p_o
Résolution	8×10^{-4} (4 mm)	2×10^{-4} (2 mm)
Acceptance angulaire	6,5 msr	5 msr
Angle des trajectoires avec le plan focal	40°	36°
Largeur du plan focal	100 mm	50 mm

II.3. CONTRAINTES LIEES AUX EXPERIENCES.

Les expériences de diffusion des électrons sont plus délicates que les expériences de diffusion de protons et, ce, pour deux raisons :

1) Les sections efficaces sont sensiblement inférieures ;

2) L'interaction du faisceau avec la matière engendre un rayonnement de freinage important (Bremsstrahlung), l'interaction des rayons gamma ainsi créés avec la matière donnant à son tour un fond important de neutrons.

Le problème du bruit de fond particules est donc particulièrement aigu.

Les expériences (e,e') ou (e,e'p) envisagées présentent la caractéristique essentielle de ne nécessiter la détection que d'une seule particule par spectromètre ; par conséquent la détection et la validation : d'une trace dans le plan focal du "900" (e,e'), d'une trace dans le plan focal de chacun des spectromètres (e,e'p).

La protection contre le bruit de fond est assurée par l'épaisseur des blindages.

II.3.1. Expériences de diffusion élastique.

On peut classer ces expériences en deux catégories : i) expériences à haute résolution ; ii) expériences à haut transfert. Les premières sont caractérisées par une statistique élevée afin d'éliminer les fluctuations statistiques. Elles nécessitent en conséquence de grandes vitesses d'acquisition si l'on veut éviter des durées trop importantes donc onéreuses. Les secondes sont caractérisées par des taux de comptage très faibles. Elles nécessitent une protection efficace contre le bruit de fond particules.

II.3.1.1. Dynamique de comptage. Elle est limitée par le bruit de fond pour les expériences à haut transfert et par la réponse du détecteur (temps mort, bruit de fond), les possibilités de l'électronique d'acquisition, la vitesse de traitement de l'information pour les taux de comptage élevés. D'autres éléments : puissance dissipable dans la cible, échauffement des fentes d'analyse, peuvent également limiter la vitesse de comptage.

L'absorption d'un taux de comptage de quelques milliers d'informations par seconde permettrait une réalisation rapide d'un point expérimental.

II.3.1.2. Bruit de fond particules. Les comptages réalisés sur de petites chambres à fils ou scintillateurs dans le plan focal du spectromètre "900" mettent en évidence un niveau de bruit pouvant être 10 à 20 fois supérieur au comptage des bons événements. Le bruit, en accroissant l'occupation en temps du détecteur et en dégradant la mesure, constitue une limitation importante.

II.3.2. Expérience de diffusion quasi-élastique.

II.3.2.1. Dynamique de comptage. Les événements en coïncidence sont rares et les taux de comptage (fortuites + totales) ne dépassent pas quelques dizaines par seconde pour les expériences envisagées (sauf cas de cibles très hydrogénées (polyéthylène) utilisées pour des étalonnages en énergie). Pour les taux de comptage faibles, la limitation est liée au niveau des fortuites.

II.3.2.2. Bruit de fond. Il intervient de deux façons : i) bruit de fond particules ; ii) niveau des fortuites (e,p) proportionnel aux comptages en simple dans chaque spectromètre soit au carré du courant accélérateur. Les taux de comptage en protons sont essentiellement liés aux réactions (e,e'p) pour lesquelles on ne détecte pas l'électron correspondant et à des réactions du type (γ,p) produites par le rayonnement de freinage dans la cible. Par rapport à l'ensemble HE3,le rapport signal sur bruit devrait être amélioré en regard des caractéristiques des spectromètres utilisés et de l'épaisseur des blindages.

II.4. CHOIX A PRIORI DES CHAMBRES A FILS.

La décision d'utiliser des chambres à fils pour couvrir les plans de détection repose sur l'application d'un certain nombre de critères représentatifs des besoins exprimés par les utilisateurs potentiels.

II.4.1. Détecteurs utilisables.

Les détecteurs sélectionnés assurent la résolution spatiale demandée :

1 plastiques scintillants et photomultiplicateurs
2 diodes semiconductrices
3 chambres à fils (MWPC)
4 chambres à étincelles.

La condition sur le taux de comptage élimine les chambres à étincelles.

II.4.2. Critères.

On souhaite un détecteur qui présente les qualités suivantes : i) couvrir tout le plan focal sans discontinuité (ne pas avoir à faire varier le champ magnétique) ; ii) être rustique d'utilisation (fiabilité) ; iii) avoir un coût le plus faible possible, compte tenu des surfaces de détection envisagées ; iv) présenter le moins de matière possible au passage des particules pour éviter la diffusion multiple.

Les chambres à fils présentent un avantage net sur les critères principaux sélectionnés ; leur choix a priori est donc tout à fait légitime.

II.5. UTILISATION D'UN CALCULATEUR D'ACQUISITION.

II.5.1. Matériel existant.

Pour acquérir les informations issues des différents détecteurs, on dispose d'un ordinateur PDP15/40 dans la configuration suivante :

- cycle mémoire 1,3 µs
- U. centrale + 40 K mots de 18 bits
- LP imprimante rapide
- lecteur de cartes
- bandes magnétiques (DECtape)
- bandes magnétiques compatibles IBM
- disques rapides
- télétype
- lecteur perforateur de rubans
- unité de visualisation intéractive à rafraîchissement
- cet ordinateur est géré par un moniteur DOS 15. Le support moniteur et programmes est le disque.

II.5.2. Tâches attribuées à l'ordinateur.

L'expérience acquise sur le détecteur utilisé en salle expérimentale HE3 [28] a montré la nécessité de maximiser le travail sur l'ordinateur temps réel afin de disposer d'une plus grande information en temps réel et de limiter le volume de l'information à traiter hors ligne. Dans ces conditions les tâches dévolues à l'ordinateur en ligne sont :

- acquérir et réduire les données issues des détecteurs ;
- effectuer le traitement le plus complet sur les événements individuels ou des informations intégrées (constitution d'histogramme, correction d'efficacité ...) ;
- rejeter les événements hors norme ;
- fournir toutes les informations permettant une contre-réaction sur la conduite de l'expérience ;
- stocker les résultats partiels sur bande magnétique compatible IBM pour traitement hors ligne.

Il est absolument nécessaire d'assurer les cinq points ci-dessus pour réaliser l'exploitation des expériences envisagées.

II.6. FIABILITE, MAINTENABILITE, FLEXIBILITE D'EMPLOI.

Le système opérationnel devra présenter les qualités suivantes :

Fiabilité : c'est son aptitude à ne pas tomber en panne. La contrainte maximale est la réalisation d'une expérience de quatre semaines consécutives ; le temps moyen entre pannes (M.T.B.F.) doit être alors de 13 400 heures à 95% de confiance.

Maintenabilité : c'est la capacité du système à être maintenu en bon fonctionnement d'une manière aisée.

Flexibilité d'emploi : le système doit être suffisamment souple pour absorber une large gamme de conditions expérimentales. La facilité de mise en oeuvre est une composante importante de cette flexibilité d'emploi.

II.7. PROBLEME DE COÛT

Le cadre de la recherche fondamentale en physique nucléaire est jusqu'à ce jour peu propice aux analyses de coût. La définition des objectifs ne peut en effet prétendre à la précision et à la stabilité d'objectifs industriels. Cependant, l'analyse des coûts de développement ou d'exploitation du système de détection doit être conçue de manière globale et ne pas se limiter à la seule addition du prix des composants électroniques constituant les voies d'amplification.

Pour choisir entre différentes solutions, il est nécessaire de caractériser précisément l'objectif global et de définir un facteur de mérite (performances, prix) permettant la comparaison.

Le coût de développement est une évaluation assez complexe et n'est pas nécessairement significatif à un instant donné, compte tenu des effets d'échelles ou des grandes variations de prix dans le domaine des semiconducteurs.

Le coût d'exploitation mesuré en : i) nombre d'heures nécessaires à la maintenance à la mise en oeuvre , ii) coût des composants de rechange , iii) nombre d'heures d'indisponibilité du système est un bon indicateur de l'opération du système au niveau de performance souhaitée.

Chapitre III

CONSEQUENCES DU CAHIER DES CHARGES

Ce chapitre a pour objectif de tirer les premières conséquences consécutives à la définition des expériences et des conditions de réalisation.

III.1. STRUCTURE DU DETECTEUR.

La mesure de l'impulsion de la particule dans le plan focal du spectromètre est effectuée à l'aide d'une chambre à fils, les avantages de ce détecteur ayant été soulignés au chapitre II.

Le nombre de canaux de détection est au minimum le quotient de l'acceptance en impulsion par la résolution soit :

$$E_{900} \neq 500 \text{ canaux},$$

$$E_{600} \neq 500 \text{ canaux};$$

le nombre de canaux de détection du "600" et du "900" a été porté à 512.

III.1.1. Expériences (e,e'p): amélioration de la résolution en impulsion.

En raison de l'ouverture angulaire des spectromètres (Fig. III.1.1a), il existe une incertitude sur la mesure de l'impulsion. Cette incertitude est directement liée à l'ouverture des angles θ et φ. La mesure de l'impulsion étant :

$$\vec{p} \pm \vec{\Delta p}_{\theta}, \pm \vec{\Delta p}_{\varphi},$$

$$\vec{e'} \pm \vec{\Delta e'}_{\theta} \pm \vec{\Delta e'}_{\varphi}$$

La mesure est évidemment la plus mauvaise pour les protons ayant une impulsion nulle dans le noyau (Fig. III.1.1b). L'incertitude est mesurée par :

$$|\Delta\vec{p}_{\theta'}| = \theta'_{sr}|\vec{p}|$$

$$|\Delta\vec{p}_{\varphi'}| = \varphi'_{sr}|\vec{p}|$$

$$|\Delta\vec{e}'_{\theta}| = \theta_{sr}|\vec{e}'|$$

$$|\Delta\vec{e}'_{\varphi}| = \varphi_{sr}|\vec{e}'|$$

en assimilant l'angle à sa tangente.

Pour : $\theta = \pm 0{,}1$ sr $\qquad \theta' = \pm 0{,}07$ sr

$\varphi = \pm 0{,}02$ sr $\qquad \varphi' = \pm 0{,}017$ sr

à $|\vec{p}|$ ou $|\vec{e}'| = 400$ MeV/c, l'incertitude atteint : $|\Delta\vec{e}'_{\theta}| = 40$ MeV/c, $|\Delta\vec{p}_{\theta'}| = 28$ MeV/c.

Les composantes selon les angles φ et φ' étant environ cinq fois plus faibles peuvent être négligées en première analyse. L'incertitude maximale sur la mesure de l'impulsion du proton dans le noyau est donc de l'ordre de 70 MeV/c.

La distribution d'impulsion dans le noyau ayant une forme rapidement variable, les 70 MeV/c d'incertitude entachent lourdement la mesure. Il est donc nécessaire d'améliorer sensiblement cette résolution. En se limitant à une résolution de l'ordre de 8 MeV/c, on peut tirer les conclusions suivantes :

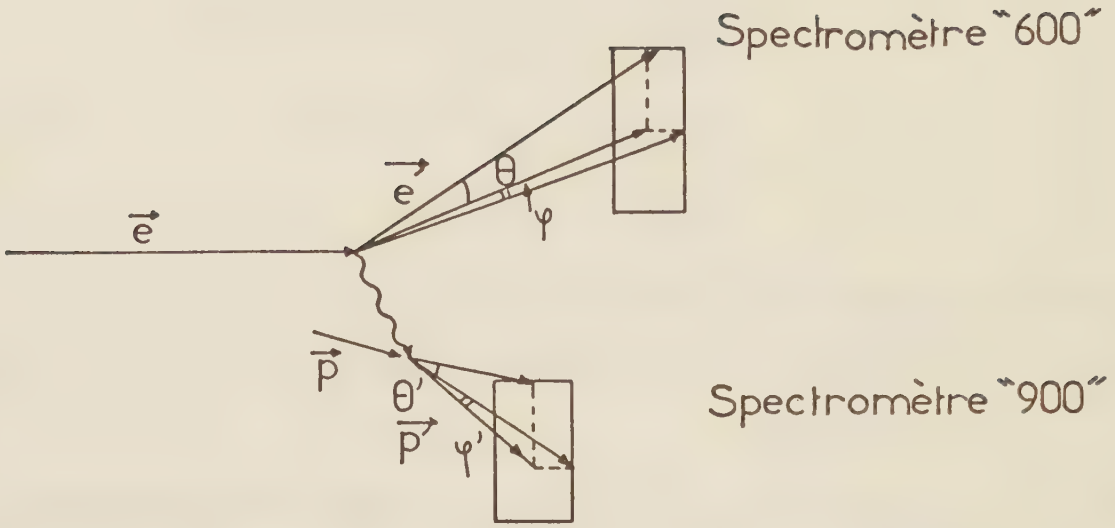
1) il est nécessaire d'effectuer une analyse selon la composante θ à l'aide d'un plan "X" parallèle au plan focal E ;

2) un canal E du plan focal se verra associé à une dizaine de canaux X ;

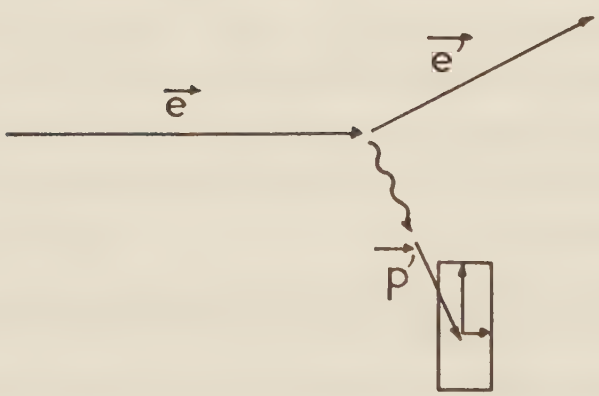
3) il sera prévu :

a) d'analyser plus finement en X afin de sauvegarder une possibilité de meilleure résolution,

b) d'implanter l'analyse en Y (composante selon φ) dans le système d'acquisition de données, bien qu'une telle analyse ne soit pas nécessaire pour les premières expériences.



a) cas général $\vec{p} \neq 0$



b) $\vec{p} = 0$

Amélioration de la résolution en impulsion.

Fig. III.1.1

Conséquences de l'introduction d'un plan X.

Pour tout canal E, une zone délimitée de la chambre X est autorisée ; en conséquence, toute particule ne satisfaisant pas à cette condition de "directivité" sera rejetée. L'introduction d'un plan X est donc un élément majeur de rejection du bruit de fond particules.

Choix du détecteur X.

Compte tenu des dimensions des plans X, proches de celles des plans E, il apparaît souhaitable d'utiliser également des chambres à fils pour équiper les plans X. Les caractéristiques de ces plans seront décrites ultérieurement dans le chapitre.

III.1.2. Chambres à fils : conséquences et conditions de leur utilisation.

Les chambres à fils développées à l'accélérateur linéaire de Saclay, AL 300, ont été conçues par MM. Grunberg, Cohen et Le Devéhat qui en ont spécifié puis contrôlé les performances. Des données importantes concernant l'utilisation de telles chambres dans des expériences (e,e'p) ou (e,e') ont été acquises en 1970, 1971 et 1973. Ces données ainsi que les performances intrinsèques des chambres sont rappelées ci-dessous :

III.1.2.1. Utilisation de chambres MWPC. Les chambres à drift [14], à ligne à retard [15], à sélection par le temps de montée [16] sont trop lentes et ne peuvent assurer les taux de comptages envisagés. Des méthodes décrites récemment [17-18] présentent des rapidités sensiblement plus importantes ; elles utilisent des techniques électroniques linéaires, ce qui les rend plus délicates d'emploi.

Les méthodes utilisant une chaîne d'amplification par canal sont en mesure d'assurer la rapidité recherchée, en raison de l'indépendance des canaux de détection. Les inconvénients liés au coût, au volume, à la puissance consommée sont contre-balancés par l'extrême simplicité de la fonction associée à un canal.

III.1.2.2. Caractéristiques amplitudes. Le niveau et la distribution des amplitudes dépendent des paramètres suivants : i) configuration mécanique : distance anode-cathode, diamètre du fil ; ii) mélange gazeux ; iii) haute tension ; iv) impédances de charge.

La configuration mécanique est très classique : fils de 20 µm, distance cathode-fils d'anode de 7,5 mm.

De nombreux auteurs ont décrit l'influence de ces différents paramètres. Pour le mélange gazeux utilisé à l'ALS 300, les travaux de Grunberg et al. [19] analysent les différentes caractéristiques de ces chambres. L'utilisation d'un gaz électro-négatif , le bromure d'éthyle, permet de contrôler la dimension de la zone utile, l'accroissement de la concentration en bromure réduisant la zone de collection.

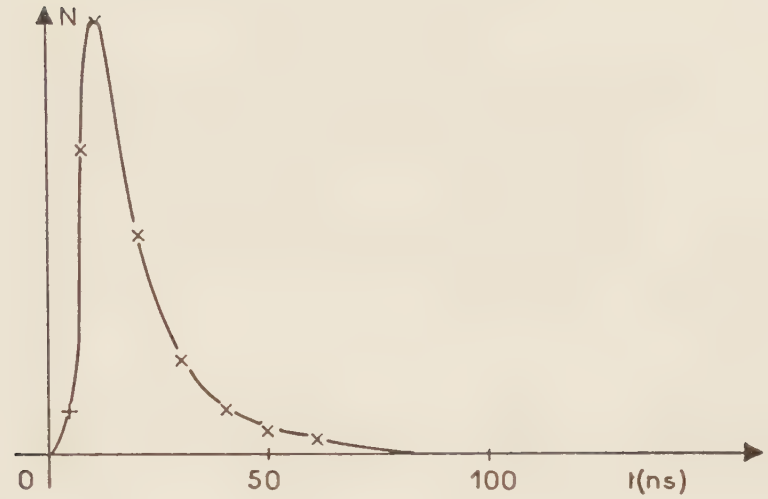
Le point de fonctionnement haute tension, c'est-à-dire la zone utile du plateau, dépend essentiellement : i) de l'énergie perdue par les particules ; ii) du seuil des amplificateurs ; iii) de l'impédance de charge des fils ; iv) de la concentration en bromure d'éthyle. Dans les conditions d'utilisation sur les détecteurs HE3 ou HE1 64 voies, les plateaux, moyennés sur un grand nombre de fils, laissent apparaître une plage utile de l'ordre de 200 V au-dessus de 4200 V pour des seuils compris entre 2 mV et 5 mV, les impédances de charge utilisées étant de 200 Ω.

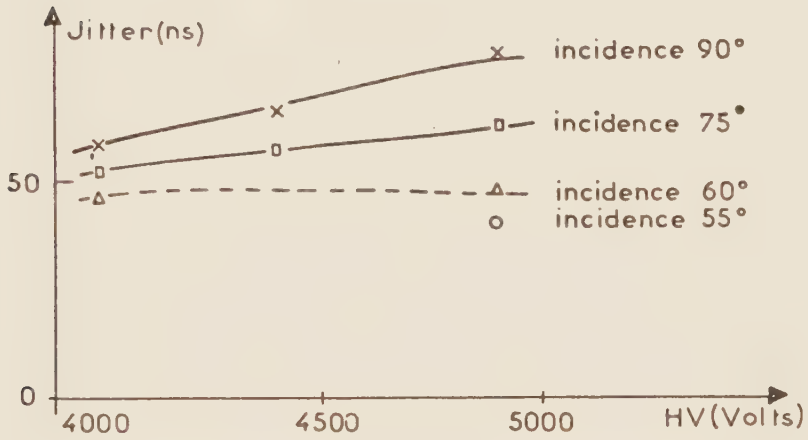
III.1.2.3. Caractéristiques temporelles. En régime proportionnel ou en régime semi-proportionnel, les impulsions présentent, dans les conditions précédentes, des temps de montée de l'ordre de la dizaine de nanosecondes. La fluctuation en temps varie avec : i) l'inclinaison de la trace de la particule ; ii) le nombre de fils regroupés pour former un canal de détection. Pour les incidences envisagées, cette fluctuation est voisine de 60 ns à pleine efficacité Fig. III.1.3 (a,b,c).

Temps mort.

Il dépend essentiellement : i) du point de fonctionnement : proportionnel, semi proportionnel, Geiger ; ii) de la largeur de l'impulsion analogique au niveau du seuil. Le temps mort n'est définissable que pour un cluster ou surface de chambre (nombre de fils consécutifs touchés).

III.1.2.4. Caractéristiques spatiales. En raison des trajectoires inclinées à 40° environ sur les chambres, un événement est défini par l'apparition d'information sur plusieurs fils consécutifs. La distribution des largeurs, mesurées en nombre de canaux, des clusters, est liée à la concentration en bromure, la haute tension, au nombre de fils





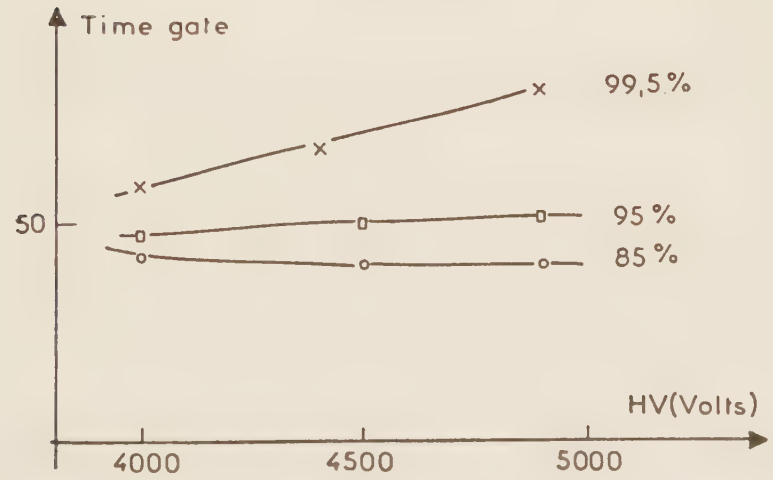


Fig. III.1.3 (a,b,c)

Caractéristiques temporelles des chambres

regroupés, à l'angle d'incidence des particules. La figure III.1.4 donne une telle distribution mesurée pour des canaux de 2 mm (1 fil). Cette distribution a été relevée à l'aide du détecteur 64 canaux utilisé dans le plan focal du spectromètre "900".

III.1.2.5. Conséquences de l'utilisation des chambres MWPC conclusions. La nécessité d'un fonctionnement fiable oblige à réduire tout ce qui est réglage ou ajustement et à définir des conditions d'utilisation non marginales. Les différents paramètres de l'électronique seront définis en terme de distribution autour de valeurs moyennes.

Première conséquence :

La fluctuation en temps des chambres (60 ns) à laquelle se combine la distribution des temps de propagation dans les amplificateurs en fonction de l'amplitude de l'impulsion, ainsi que la variation de l'instant de déclenchement du seuil en fonction de cette amplitude, interdisent d'utiliser les chambres comme marqueur temps pour les informations du spectromètre correspondant, et a fortiori pour la définition du temps séparant l'électron et le proton (e,e'p).

Conclusion : Le temps de passage d'une particule devra être défini par des détecteurs rapides : plastiques ou Čerenkov. L'utilisation de deux plans est absolument nécessaire pour rejeter le bruit de fond particules. Ces deux plans nommés R et Y seront situés : R entre E et X, Y derrière la chambre X.

Deuxième conséquence :

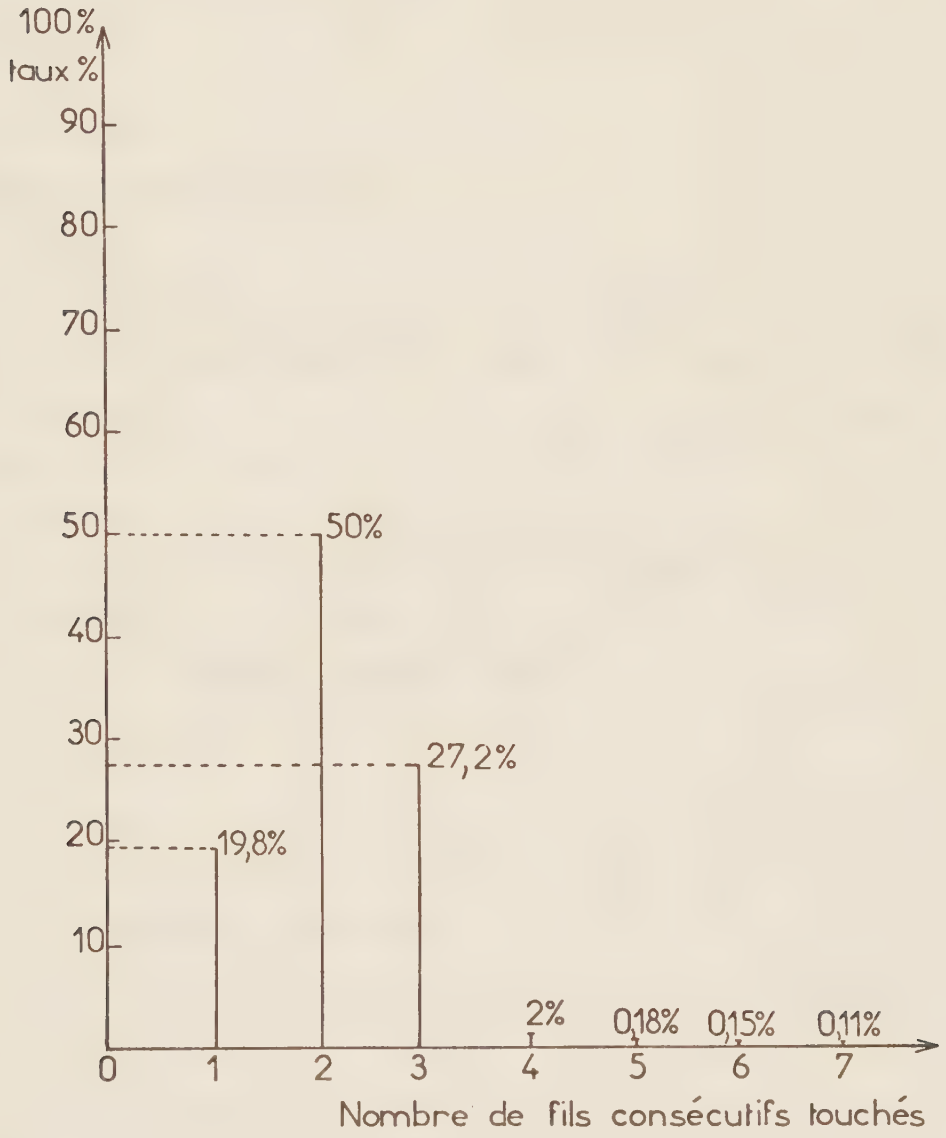
Pour les expériences (e,e') l'efficacité de détection sera égale à :

$$\varepsilon_T = \varepsilon_E . \varepsilon_X . \varepsilon_R . \varepsilon_Y$$

en supposant $\varepsilon_R . \varepsilon_Y = 1$, $\varepsilon_T = \varepsilon_E . \varepsilon_X$, pour (e,e'p) :

$$\varepsilon_T = \varepsilon_{E"900"}\ \varepsilon_{X"900"}\ \varepsilon_{E"600"}\ \varepsilon_{X"600"}$$

Il est donc possible de tolérer des défauts d'efficacité de l'ordre de 2% à 3% par chambre sans dégradation sensible de l'efficacité globale. A titre de comparaison le projet SFM [21] au CERN avec 20 plans de chambres ne peut tolérer pour la même efficacité globale qu'un défaut de 0,5% par chambre. Cette situation est renforcée par la nature essentiellement différente des expériences.



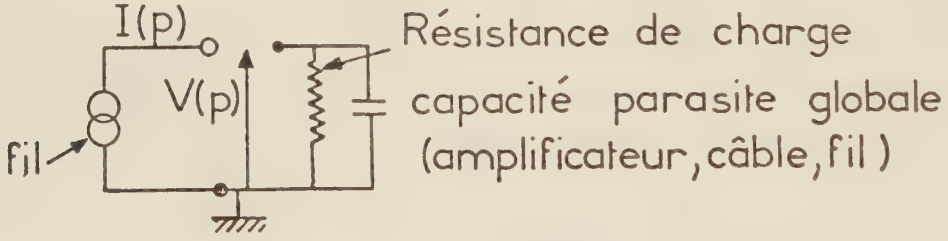
Distribution de fils consécutifs touchés (plan focal du "900"

Fig. III.1.4

La possibilité d'efficacités relaxées est très avantageuse pour l'application aux taux de comptage élevés envisagés. En effet le temps mort sur l'ensemble des canaux déclenchés par le passage d'une particule est lié au point de fonctionnement de la chambre et à la largeur de l'impulsion au niveau du seuil de déclenchement, la seconde composante étant prépondérante dans les conditions normales de fonctionnement des chambres (régime proportionnel ou semi-proportionnel).

Il faut donc, pour diminuer le temps mort au niveau d'un cluster : 1) réduire la taille des zones sensibles ; 2) réduire la largeur des impulsions délivrées par les fils.

Le point 1 est réalisable par augmentation de la concentration en bromure. Le point 2 peut être obtenu par des impédances de charge relativement basses. La forme du spectre d'amplitude assure, pour des seuils compris entre 2 mV et 5 mV, une efficacité tout à fait satisfaisante. Le gain en temps de présence à un seuil donné peut être déduit des courbes de la référence [20] (Fig. 5a et 6a) ou en assimilant un fil à un générateur de courant :



en transformée de Laplace :

$$V(p) = I(p).Z(p) = I(p)\left(\frac{1}{R} + Cp\right)^{-1} = R\, I(p) \cdot \frac{1}{1+RCp}$$

assimilant en première approximation l'impulsion à un échelon de courant :

$$V(p) = R\,\frac{I}{p} \cdot \frac{1}{1+RCp}$$

soit en temps :

$$V(t) = RI\ (1-e^{-t/RC}).$$

Ceci montre, à C constant, l'effet de R tant sur l'amplitude que sur la durée; pour R = 200 Ω, C = 50 pf, une impulsion de 25 mV et un seuil de

5 mV, "l'encombrement en temps" est voisin de 200 ns. Bien que le modèle choisi soit très rustique, il reflète assez bien le comportement du fil et de sa charge. En pratique, le regroupement de fils modifie la forme et l'amplitude des impulsions [20] ainsi que l'extension des clusters; les ordres de grandeur sont cependant conservés.

Conclusion : L'utilisation d'une résistance de charge faible maintient, pour des seuils entre 2 mV et 5 mV : une efficacité suffisante, un temps mort par cluster relativement faible (≠ 500 ns), une susceptibilité réduite aux parasites électromagnétiques. R a été choisi égale à 200 Ω; cette résistance est maximale si l'on veut maintenir la tension d'offset des amplificateurs à un niveau raisonnable.

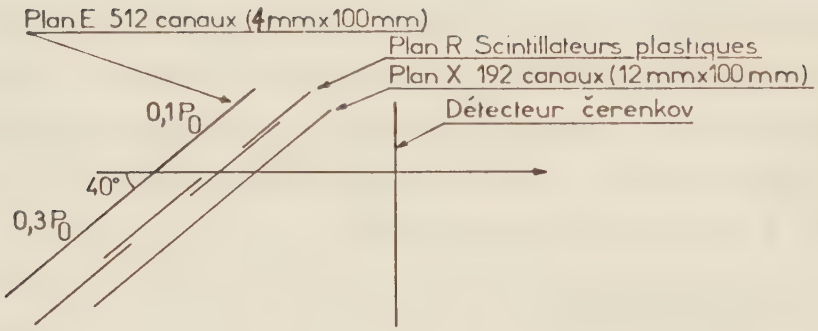
III.1.3. Structure du détecteur.

La section III.1.1. a permis de définir la structure de détection pour chacun des spectromètres. En raison de l'espacement mécanique nécessaire au positionnement des scintillateurs du plan R, on doit maintenir un espacement voisin de 20 cm entre les plans E et X. En conséquence, les plans X peuvent être définis à partir de cette distance, des cartes de trajectoire et des résolutions souhaitées. Le tableau III.1.1 récapitule nombre et dimensions des canaux de détection pour les différents plans.

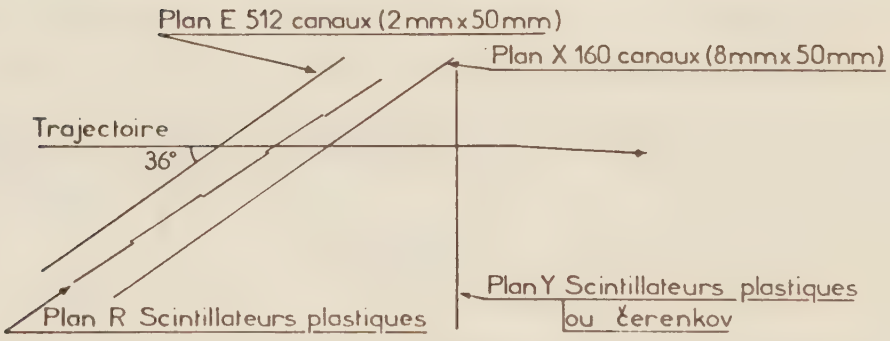
Tableau III.1.1

		900	600
E	Nombre de canaux	512	512
	Dimensions l x h	2 mm x 50 mm	4 mm x 100 mm
X	Nombre de canaux	160	192
	Dimensions l x h	8 mm x 50 mm	12 mm x 100 mm

Les figures III.1.5(a,b) schématisent la structure pour les spectromètres "900" et "600".



a) Spectromètre "600"



b) Spectromètre "900"

Pour chaque spectromètre une information comprend quatre mesures (E, X, R, Y)

Fig. III.1.5(a,b)

Structure de détection

Remarque : Une voie E correspond dans ce cas à 15 à 20 voies X, ce qui autorise une résolution en impulsion de l'ordre de 3 MeV/c à 4 MeV/c et permettra ultérieurement des mesures plus fines.

III.2. PROBLEMES POSES PAR LE TAUX DE COMPTAGE.

Il est assez difficile de refléter les conditions réelles pour la large gamme d'expériences qui sera réalisée. Les expériences (e,e') présentent fréquemment des comptages très localisés (pic élastique, premiers niveaux) se situant sur quelques dizaines de canaux. La distribution du comptage dans ce cas n'est pas uniforme et les corrections de temps mort ne sont pas évaluables en l'absence d'une simulation. Les expériences (e,e'p) présentent des spectres quasi plats et se prêtent mieux à une évaluation. Le bruit propre des chambres est insignifiant 0,2 cps/s/cm^2 et n'intervient pas. Dans la suite de la discussion on envisagera un taux de comptage de 30 coups par plan de détection (R, Y, E, X) dont 4 sont de vrais événements. Les plans seront uniformément arrosés. Le taux correspond à l'impulsion faisceau de 10 µs et est équivalent à 3 x 10^6 coups/s continu.

L'importance de ce taux de comptage se traduit à différents niveaux :

1) chambres : taux de comptage/canal ;
2) détecteurs rapides : taux de fortuites marqueur temps ;
3) électronique associée aux chambres ;
4) entrée des informations dans l'ordinateur.

III.2.1. Influence de comptages élevés au niveau chambre.

Tableau III.2.1

	"900"	"600"
taux de comptage par canal — E	# 0,06	# 0,06
taux de comptage par canal — X	# 0,18	# 0,15

Le tableau III.2.1. donne le taux de comptage par canal pour chacune des chambres. Le temps mort ne peut être directement calculé à partir de ce tableau. En effet une trace peut toucher plusieurs canaux consécutifs, la probabilité décroissant avec la largeur des canaux.

En supposant que plus de 90% des traces correspondent à un cluster de largeur inférieure ou égale à :

$$E_{"900"} = 3 \text{ canaux} \qquad E_{"600"} = 2 \text{ canaux}$$

$$X_{"900"} = 2 \text{ canaux} \qquad X_{"600"} = 2 \text{ canaux}$$

On obtient le tableau III.2.2 sur la base d'un temps mort de 500 ns ou de 1 µs par trace et d'une loi de Poisson

$$p(x) = \frac{(tm)^x \, e^{-tm}}{x!}$$

$$\text{pertes de comptage} = \frac{\sum \text{coups non comptés dans tm}}{\text{nombre moyen de coups}} = 1 - \frac{1-e^{-tm}}{tm} = \frac{tm}{2}$$

m = nombre moyen de coups par cluster standard/10 µs ;

t prend les valeurs 500 ns = 0,05.10 µs

1 µs = 0,1 10 µs.

le taux de comptage moyen par cluster m vaut :

$$mE_{900} = 0,18 \qquad mE_{600} = 0,12$$

$$mX_{900} = 0,36 \qquad mE_{600} = 0,3$$

Tableau III.2.2

	"900"	"600"	
Pertes E	$9\ 10^{-3}$	$6\ 10^{-3}$	t = 500 ns
Pertes X	$1,8\ 10^{-2}$	$1,5\ 10^{-2}$	
Pertes E	$1,8\ 10^{-2}$	$1,2\ 10^{-2}$	t = 1 µs
Pertes X	$3,6\ 10^{-2}$	$3x10^{-2}$	

Limites de validité de cette évaluation.

1) Le temps mort est considéré fixe et non cumulatif. Cette hypothèse n'est évidemment pas valable en raison de la nature même de ce temps mort (largeur variable des impulsions au seuil de l'amplificateur).

2) Les traces correspondant au bruit de fond ont une inclinaison quelconque sur les chambres.

3) Le temps mort varie avec la haute tension et d'un fil à l'autre ; par exemple, en mode Geiger, le temps mort lié à la gaine d'ions peut atteindre 1,2 µs sur le "600" (fils de chambre de 10 cm).

En conclusion du point III.2.1 il est possible d'affirmer que, pour les comptages maximaux envisagés et dans le cas d'une distribution uniforme, les taux de pertes par chambre restent de l'ordre de quelques %.

III.2.2. Influence du taux de comptage au niveau des détecteurs rapides.

Le taux de fortuits peut être relativement important si la coïncidence entre les plans R et Y n'a pas une résolution suffisante. Le tableau III.2.3 compare différentes durées de coïncidences.

Tableau III.2.3

Largeur τ(ns)	5	10	20	40
Taux (%)	17	34	68	136

m = 4 étant le nombre moyen de vrais événements.

$$N_F = 2\tau N_1 N_2 \; ; \; N_1 = N_2 = 26, (30- m)$$

Le nombre de coïncidences fortuites entre casemates est égal à :

$$N_f = 2\tau Nev_{"900"} \times Nev_{"600"}$$

où $Nev_{"900"}$ et $Nev_{"600"}$ sont les marqueurs de temps (vrais + fortuits) pour une résolution intracasemate de 10 ns et intercasemate de 20 ns

$$N_f = 2 \times 20 \times 10^{-4} \times 4 \times (1,34) \times 4 \times (1,34)$$

$N_f \# 0,12$ par impulsion faisceau soit 120/s

Ces taux indiquent la nécessité absolue d'obtenir le maximum de résolution tant pour les décisions entre spectromètres que spécifique d'un spectromètre.

III.2.3. Influence des taux de comptage sur l'électronique associée aux chambres.

Le faisceau ayant une durée de 10 µs avec un taux de répétition de 1000 Hz, il n'est pas possible de transmettre les informations à l'ordinateur au fur et à mesure de leur arrivée. Le temps nécessaire à l'acquisition d'un mot (18 bits) dans l'ordinateur est au minimum de 1,3 µs. On peut, en fonction de la taille d'un événement, établir le tableau III.2.4 qui donne le temps mort associé à l'acquisition et le taux de comptage correspondant à des pertes de 1%.

Tableau III.2.4

e,e'	nb. mots/evt	1	2	4	8
	temps mort	1,3	2,6	5,2	10,4
	pertes = 1% m =	0,15	0,07	0,035	0,02
e,e'p	temps mort	2,6	5,2	10,4	20,8
	pertes = 1% m =	0,07	0,035	0,02	0,02

Il est donc nécessaire de séparer la fonction d'acquisition de la fonction d'entrée dans le calculateur. Ceci est possible en utilisant une mémoire tampon. Les données sont chargées dans cette mémoire à l'instant de leur apparition et relues dans l'intervalle séparant deux impulsions accélérateurs. La capacité de cette mémoire (nombre de mots x longueur) ne peut être précisée à ce stade.

La rapidité de cette mémoire peut cependant être évaluée pour le nombre maximum d'événements envisagés m = 4. Pour une perte de 1% = $\frac{tm}{2}$, t temps mort associé à l'acquisition en mémoire :

$$t = \frac{1}{2} \times 10^{-2} \times 10^{-5} \text{ s} = 5\ 10^{-8} \text{ s}$$

III.2.4. Influence du taux de comptage sur l'entrée en ordinateur.

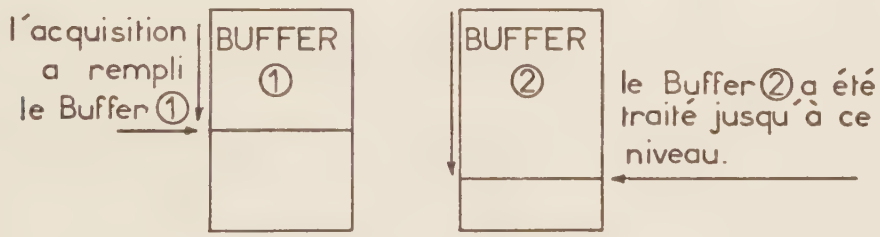
Dans les conditions précédentes de taux de comptage, le temps de traitement disponible par événement est de 250 µs pour les expériences (e,e') et de 125 µs pour les expériences (e,e'p). En se basant sur 250 µs il est évident : i) qu'il sera difficile de traiter les événements dans un temps si court (100 instructions ≠ 250 µs) ; ii) qu'il est nécessaire de réduire le caractère aléatoire de l'arrivée des événements vu du côté programme. En effet pour m = 4 événements par impulsion faisceau, la probabilité d'avoir plus de 4 événements reste assez forte :

$$P(x>4) = \sum_{5}^{\infty} \frac{m^x e^{-m}}{x!} \neq 40\%$$

Pour réduire l'importance du caractère aléatoire de l'arrivée des informations, on utilise des zones tampons en mémoire ordinateur. Ces zones sont appelées buffers.

Principe d'utilisation des buffers.

Pour chaque type d'événements (simples électrons, simples protons, paires électrons-protons en coïncidence) on associe en mémoire calculateur deux buffers. La logique d'acquisition remplit alternativement ces deux buffers. Lorsque un buffer est rempli, un signal de synchronisation informe le programme que le traitement de ce buffer est possible.



La réduction du caractère aléatoire de l'arrivée des événements est liée à la division de la "fréquence" d'entrée des événements par N, taille des buffers mesurée en nombre d'événements. Plus N est grand, plus régulière est la prise en compte des événements par le programme. La limitation réside en la taille mémoire nécessaire.

Profondeur des buffers.

L'intervalle moyen entre événements à l'entrée des buffers étant T, soit N la capacité buffers en nombre d'événements. La distribution des intervalles de temps en sortie de buffers (synchronisation avec le programme) peut être assimilée à une gaussienne centrée sur NT si N est suffisamment grand. Le tableau III.2.5 donne la capacité mémoire nécessaire pour différentes tailles d'événements pour les expériences les plus complexes (e,e'p). En supposant que le produit : fréquence des événements x temps de traitement est constant.

Tableau III.2.5

taille evt.simple \ N	16	32	64	128	256	1024
1	128	256	512	1024	2048	4096
2	256	512	1024	2048	4096	8192
4	512	1024	2048	4096	8192	
8	1024	2048	4096	8192		
16	2048	4096	8192			

L'ordinateur disposant de 40 K mémoires (1 K = 1024 mots), la constitution d'histogrammes, les différents compteurs ou zones de stockage pouvant occuper près de 8 K, il apparaît préférable de ne pas dépasser 8 K pour les buffers d'acquisition afin de ne pas trop réduire la zone programme en mémoire. Ceci limite la capacité d'un buffer à 1 K.mots pour les simples et 2 K.mots pour les coïncidences (une coïncidence est constituée de deux simples).

Cas des expériences (e,e'p).

Dans le cas d'expériences (e,e'p) les événements intéressants sont les couples (e'p) formés de l'électron diffusé et du proton éjecté du noyau. Les événements simples non corrélés, électrons ou protons,

permettent le contrôle de la stabilité du système expérimental et le calcul de l'efficacité des voies. Il est donc nécessaire de prévoir :

2 zones tampons B_e1 B_e2 pour les électrons

2 zones tampons B_p1 B_p2 pour les protons

2 zones tampons B_c1 B_c2 pour les couples (e'p) et mesures associées au couple.

Il n'est pas nécessaire de conserver tous les événements simples ; la statistique pour les tâches envisagées serait trop importante pour les précisions requises (une statistique de 10 000 cps/voie/électron ou proton serait atteinte en 20 mn sur la base d'un taux de comptage maximal). Par ailleurs le traitement de ces événements surchargerait le calculateur. On ne conservera donc qu'un événement simple parmi n incidents ; ceci peut se réaliser au niveau programme mais requiert du temps calculateur tant pour entrer les événements dans la mémoire du calculateur que pour réaliser la fonction 1 parmi n. En conséquence il apparaît impérieux, pour assurer le taux de comptage maximal, de réaliser la fonction 1 parmi n par une logique spécialisée insérée avant l'entrée dans le calculateur. Cette fonction devra être assez souple pour autoriser différentes valeurs de n.

Remarque : Une telle fonction 1/n pourra avoir d'autres applications ; par exemple i) travailler à courant constant pour une certaine gamme d'angles (e,e'), ce qui peut éviter des réglages machines toujours délicats ; ii) contrôler la réponse de l'appareillage à fort taux de comptage sans surcharger le calculateur.

III.3. LE BRUIT DE FOND PARTICULES.

III.3.1. Nécessité du rejet du bruit de fond particules.

L'importance quantitative du bruit de fond a été soulignée en II.3., ses effets peuvent se manifester sous plusieurs aspects :

III.3.1.1. Création de marqueurs temps fortuits. A partir du comptage en simple des plans R et des plans Y et en fonction de la précision de l'opération de coïncidence entre ces plans (tableau III.2.3).

III.3.1.2. Création d'ambiguïtés au niveau de la reconstitution des trajectoires. C'est-à-dire la création de configurations du type :

1 information E, 2 informations X
2 informations E, 1 information X
2 informations E, 2 informations X

ou des événements plus complexes.

III.3.1.3. Détérioration de la mesure. Dans le cas où deux particules, dont une correspondant au bruit de fond, présentent sur une chambre au moins des clusters jointifs.

III.3.1.4. Pour les expériences (e,e'p). Le taux d'informations est très bas car les sections efficaces sont petites en général (sauf cas de cibles très hydrogénées). Le taux de fortuits entre les marqueurs temps peut être assez élevé et constituer un fond de bruit duquel le signal se détache peu. Le problème est compliqué par la longueur des plans focaux des spectromètres ce qui ne permet pas de réaliser des coïncidences très sélectives.

III.3.2. Lignes directrices pour le rejet du bruit de fond.

III.3.2.1. Pour chaque spectromètre. Rejet par une grande rapidité des coïncidences entre les plans R et Y, la seule limite à cette rapidité devant être la criticité des réglages. Les caractéristiques mécaniques des scintillateurs, à un moindre degré, les caractéristiques électroniques des photomultiplicateurs et des différents tiroirs de traitement du signal ne permettent pas d'espérer mieux que 10 ns.

III.3.2.2. Réjection fine basée sur le temps par mesure du temps entre marqueurs temps des spectromètres. La méthode utilisée résulte des expériences effectuées en salle expérimentale HE3. On utilise les marqueurs temps de chaque spectromètre pour déclencher et arrêter un ensemble de mesures de temps. La résolution en temps d'un tel système devant être suffisamment bonne pour que l'incertitude introduite soit petite devant les caractéristiques de temps de montée ou de fluctuation en temps du détecteur (300 ps/1 ns), on obtient alors une courbe de réponse qui reflète l'ensemble signal + bruit de fond, indépendamment de la localisation des particules (Fig. III.3.1). Le fond des fortuits est donné par :

$N_f = 2\tau N_{e'} N_p$ $\begin{cases} N_{e'} \text{ comptage simple } e' \\ N_p \text{ comptage simple } p \end{cases}$

$N_f \# 120/s$ (ch. III.2.2)

(ce nombre est à rapprocher du nombre de coïncidences par seconde prévu au chapitre II soit une à deux dizaines d'événements par seconde au maximum).

Cette courbe est corrigée en utilisant l'information spatiale donnée par les chambres, ce qui permet de calculer des corrections de temps de parcours pour ces particules dans les spectromètres. Cette correction fait apparaître un signal sensiblement mieux détaché du bruit (Fig. III.3.2). Les événements corrélés, c'est-à-dire apparus à un même instant, sont rassemblés dans le "pic C.T.A.". Les fortuits gardent normalement une distribution uniforme et permettent d'évaluer la hauteur du fond à retrancher sous le pic.

III.3.2.3. Elimination du bruit de fond par la directivité. Il a été mis en évidence en III.1.1. que l'introduction d'un plan X pour l'amélioration de la résolution en impulsion permettait également de rejeter les particules non directives (Fig. III.3.3). Une voie E se voit associer 15 à 20 voies X. La réjection par le test de directivité est donc très forte. Cependant, elle ne peut être effectuée que lorsque les adresses E et X ont été constituées c'est-à-dire à un niveau avancé du traitement de l'événement.

III.3.2.4. Rejet du bruit de fond par sélection de la vitesse de la particule. Pour les particules relativistes, il est toujours possible d'utiliser les propriétés d'un détecteur Čerenkov pour les séparer d'un bruit de fond ambiant. On peut donc implanter un tel détecteur au niveau Y (on dispose de suffisamment d'espace à ce niveau) pour les électrons (spectromètres "900" (e,e') et "600" (e,e'p).

III.3.2.5. Premières conclusions sur le point III.3. Le bruit de fond peut être rejeté :

. au niveau de chaque spectromètre par les coïncidences entre détecteurs rapides : rejection par la définition du temps de passage de la particule ;

. au niveau de chaque spectromètre par le β de la particule : détecteur Čerenkov ;

. au niveau du traitement :

Fig. III.3.1
Distribution des mesures de temps non corrigées.

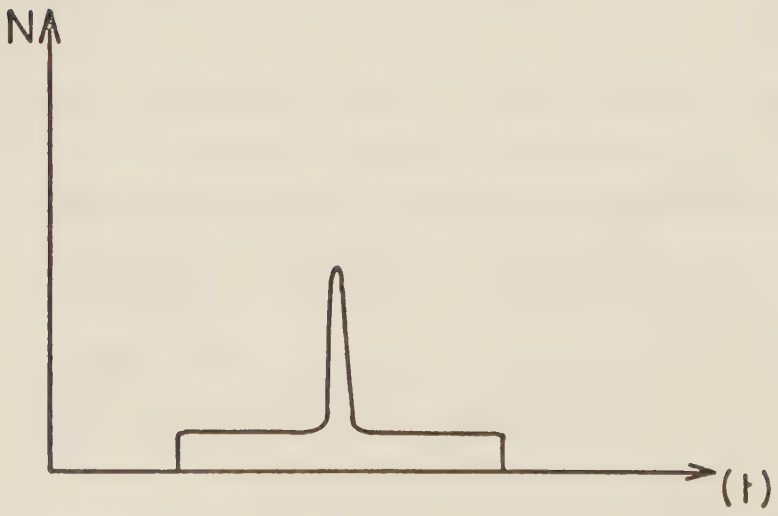
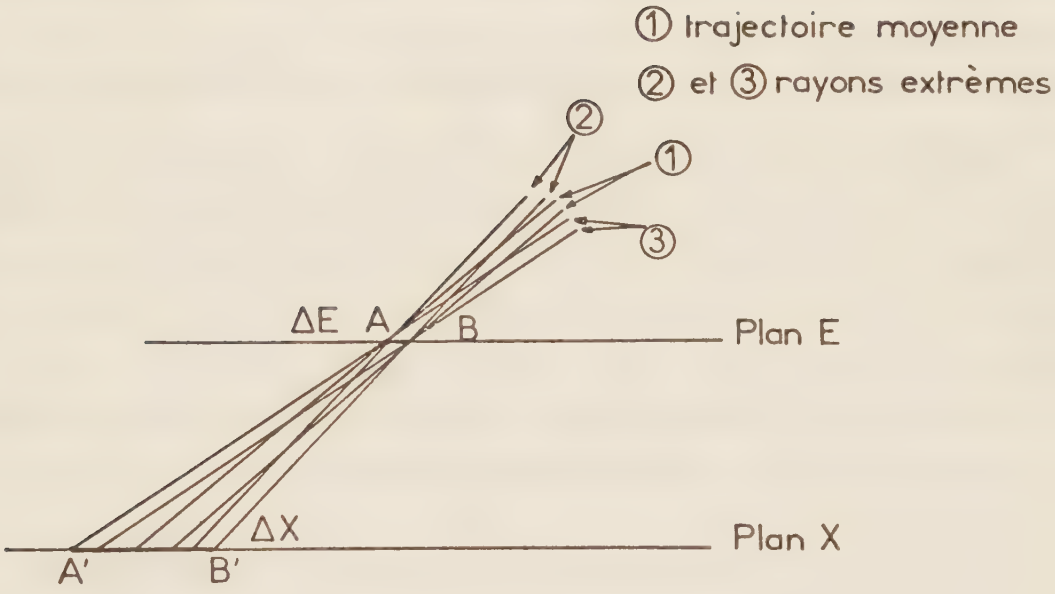


Fig. III.3.2
Distribution des mesures de temps corrigées par les longueurs de trajectoires.



Toute particule est directive si pour un ΔE elle est vue par le ΔX correspondant.

Fig. III.3.3

1) par le contrôle de la directivité E/X ;

2) par la reconstitution des temps de trajet des particules à partir des informations spatiales qu'elles génèrent (expériences (e,e'p)).

Il faut ajouter à cette liste qu'un événement est défini par une quadruple "coïncidence", R, Y, E, X ;la purge ainsi appliquée doit permettre d'assurer la mesure d'une large dynamique de sections efficaces Cependant, en l'état actuel de définition du détecteur, si la partie rapide du détecteur est bien "purgée", il n'en est pas de même pour les chambres, plus lentes, pour lesquelles la seule purge envisagée est effectuée à un niveau avancé du traitement. Pour qu'elle soit efficace, les ambiguïtés doivent être levées. Il faudra donc concevoir une prise d'information qui lèvera ces incertitudes réduisant le volume de l'information à traiter et facilitant ainsi la réalisation du point III.2.

III.4. EXPERIENCES (e,e'p) : RECONSTITUTION DES EVENEMENTS CORRELES.

La seule relation existant entre un électron et un proton corrélés est leur instant d'arrivée dans l'impulsion accélérateur. Le chapitre III.3 a montré que l'on effectuait une mesure du temps les séparant, mesure que l'on corrigeait en fonction des coordonnées des particules.

Une prise d'information relative à un événement coïncidence doit être reconstituée à partir de trois mesures :

a) localisation E, X électron + marqueur temps électron,

b) localisation E, X proton + marqueur temps proton,

c) mesure fine du temps entre marqueurs.

Il est évident que le point c) doit être réalisé de manière conditionnelle c'est-à-dire lorsqu'on détermine par une décision logique rapide interspectromètre que deux particules e et p sont en coïncidence. Dans le cas contraire, on surchargerait le système de mesure de temps, compte tenu des temps de conversion usuels : quelques dizaines de microsecondes.

Les trois voies d'acquisition ayant des vitesses d'acquisition tout à fait différentes doivent être indépendantes sous la réserve précédente ; il faut donc associer aux mesures a), b) un marquage particu-

lier "coïncidence" à partir de la décision logique rapide interspectromètre. Après chaque impulsion accélérateur, la présence de deux marqueurs coïncidence C_e, C_p, et de la mesure du temps doit nous permettre de reconstituer l'événement.

Remarque 1 : Si plusieurs événements sont marqués coïncidence à l'intérieur d'une impulsion accélérateur,seul le premier sera récupérable compte tenu du temps mort élevé du système de mesure.

Remarque 2 : De l'absence de l'une des composantes a, b, ou c on déduit un comportement défectueux du système et la localisation du défaut.

Dans les expériences réalisées en salle HE3, les trois composants de la coïncidence étaient regroupés lors du traitement en calculateur puis stockés dans un buffer en mémoire calculateur. Le principe de recorrélation utilisait une relecture synchrone des mémoires tampon externes, associée à une recherche par programme à l'intérieur des zones d'acquisition des simples marqués C_e, C_p, en mémoire calculateur [28]. Ce principe ne peut être reconduit pour les expériences en salle HE1, compte tenu du taux de comptage sensiblement plus élevé et de la nécessité de traiter,sur l'ordinateur en ligne, un maximum d'informations. Il est donc nécessaire d'imposer la logique d'acquisition,de fournir au calculateur des informations regroupées (e,p,t). Ce regroupement ne peut avoir lieu qu'au niveau d'un tronc commun de l'information c'est-à-dire à l'entrée dans le calculateur. La figure III.4.1 schématise la prise d'information coïncidence.

III.5. LE TRAITEMENT EN LIGNE DE L'INFORMATION.

La nécessité d'un traitement en temps réel de l'information a été démontrée au paragraphe II.5. L'obtention immédiate d'informations sur les résultats ou conditions de l'expérience garantit une meilleure utilisation du temps machine et de l'appareillage.

III.5.1. Traitement externe/traitement interne.

Le traitement peut être effectué,partiellement au moins,par des fonctions logiques ou des unités de traitement externes câblées ou microprogrammées. Dans ce cas, le but est de soulager la charge de travail au niveau de l'ordinateur en ligne. On a déjà démontré la nécessité

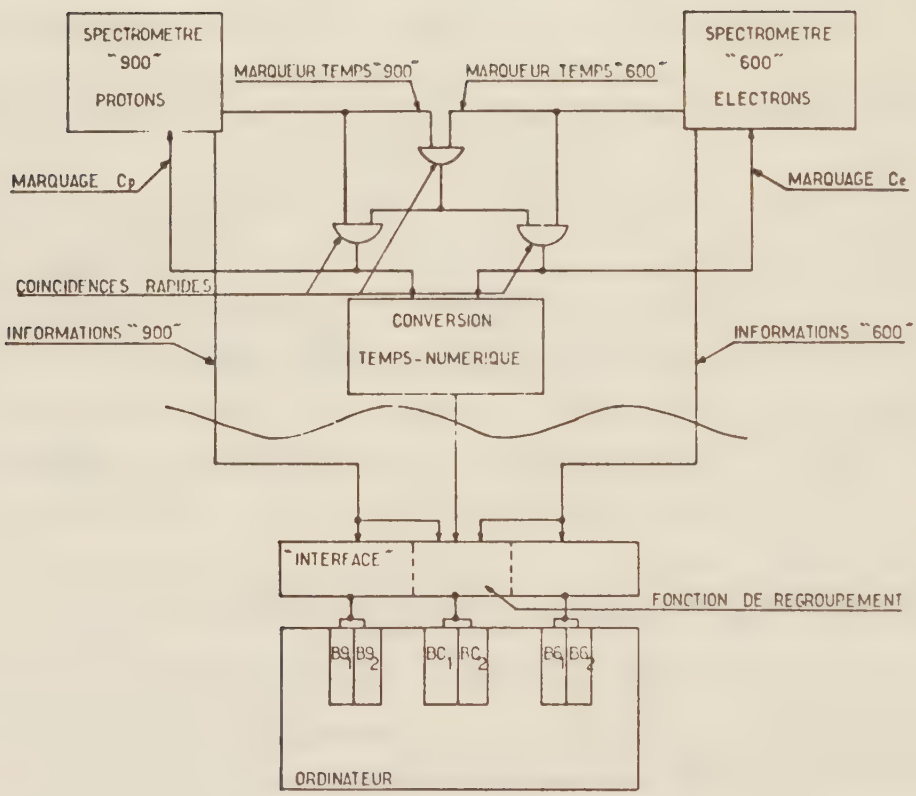


Fig. III.4.1

Principe du regroupement des informations liées aux coïncidences.

de deux fonctions câblées externes : a) la fonction 1 parmi n (paragraphe III.2) ; b) la fonction de regroupement des coïncidences (paragraphe III.4). Elles correspondent à des fonctions simples très spécialisées pour lequel le supplément de travail au niveau électronique est largement compensé par le gain en temps et en volume mémoire.

La nécessité d'utiliser d'autres fonctions externes ainsi que la part de traitement à leur attribuer seront discutées au chapitre IV lorsque des éléments plus précis concernant le traitement de l'information seront disponibles.

III.5.2. Liste minimale des opérations à effectuer en temps réel pour une expérience (e,e').

III.5.2.1. Pour chaque événement.

1) Défauts d'efficacité de E ou X par rapport au marqueur temps, incrémentation de compteurs témoins.

2) Constitution des adresses E et X de l'événement, rejet et comptage des événements mal codés ou ambigüs, incrémentation des compteurs correspondants.

3) Contrôle de directivité, incrémentation de compteurs témoins (E directifs, E non directifs).

4) Incrémentation d'un histogramme N (E) et d'un histogramme N (X).

III.5.2.2. Au niveau contrôle de l'expérience.

1) Calcul de rapports entre compteurs type générateur d'alarmes par comparaison de ces rapports à des fourchettes.

2) Calcul des efficacités.

3) Visualisation des histogrammes et compteurs.

III.5.2.3. Au niveau traitement.

1) Calculs des sections efficaces.

2) Intégrations et visualisation de séquences.

III.5.3. Liste minimale des opérations pour une expérience (e,e'p).

Le volume de l'information à traiter impose que le maximum de traitement soit fait en temps réel. Contrairement aux expériences (e,e'), les événements individuels doivent être conservés après traitement ; la liste ci-dessous énumère les principales opérations à effectuer en temps réel pour les coïncidences.

a) traitement de l'électron et du proton comme au paragraphe III.5.2.1.

b) correction de la mesure de temps :

1) calcul des longueurs en temps de trajectoire et différence de ces valeurs ;

2) correction des temps de transit dans le scintillateur ;

3) validation de la coïncidence, vraie ou fortuite.

c) calcul du bilan énergétique de la réaction pour chaque coïncidence ;

d) constitution et visualisation de différents histogrammes ;

e) constitution d'une pile coïncidence pour enregistrement sur bande magnétique et transfert vers ordinateur de calcul scientifique.

III.5.4. Conclusion du paragraphe III.5.

Compte tenu du matériel existant, des taux de comptage envisagés, du volume du traitement portant sur l'événement ou sur des événements intégrés, il apparaît, à ce point de l'analyse, très difficile d'assurer les conditions maximales envisagées par le cahier des charges.

L'introduction de fonctions câblées ou d'unités de traitement microprogrammées sont susceptibles de pallier cette situation. Cependant, leur nécessaire spécialisation, le volume d'électronique qu'elles représentent, impliquent que leur application soit soigneusement évaluée.

Dans ce contexte, la saisie d'information, le format et le volume de cette information, le pouvoir de résolution de l'événement revêtent une importance primordiale. Les choix qui seront décidés au chapitre IV s'opéreront par la confrontation des systèmes possibles aux conditions rappelées au présent paragraphe.

III.6. FLEXIBILITE DE MISE EN OEUVRE,D'EMPLOI,DE MAINTENANCE.

Il a été noté au paragraphe II.1.3. que l'ensemble associé au spectromètre "900" et l'interface vers le calculateur seraient communs aux expériences (e,e') et (e,e'p) ; ce choix a évité certainement une conception multiple de la prise d'information. Mais le grand apport reste au niveau de la mise en oeuvre, de l'emploi et de la maintenance qu'une petite équipe puisse assurer sans difficultés.

Quelles sont les conditions minimales requises pour assurer ces fonctions ?

Mise en oeuvre :

La mise en oeuvre est définie comme un temps d'accès à l'expérience. Pour cela, des possibilités de simulation doivent exister à différents niveaux fonctionnels de la chaîne d'information :

a) la simulation à l'entrée de l'interface d'événements codés permet de contrôler le bon fonctionnement de ce dernier ;

b) la simulation en entrée de logique d'acquisition :
- des signaux issus des fils,
- des signaux issus des scintillateurs

permet le contrôle de la logique d'acquisition ;

c) la simulation des signaux issus des fils permet de régler le niveau de seuils des amplificateurs, éventuellement le système complet. Il est bien évident que le test doit être effectué en remontant le flot d'information.

La mise en oeuvre du système de détection HE1 implique donc la réalisation d'un ensemble électronique de simulation et d'un logiciel de diagnostic.

Flexibilité d'emploi :

Elle impose qu'il ne doit exister dans l'ensemble d'acquisition de points figés et que la présentation de l'information soit la plus générale. Il y a conflit latent entre cette requête sur la souplesse d'emploi et l'utilisation de fonctions externes spécialisées pour la réalisation de certaines parties du traitement. L'utilisation de telles fonctions devra être programmable soit pour offrir un choix de modes opératoires soit pour supprimer des conditions restrictives.

Maintenabilité :

Il a été souligné au paragraphe II.6 que la fiabilité de l'ensemble d'acquisition doit être élevée, mais le complément indispensable de la fiabilité est la maintenabilité c'est-à-dire la réparabilité. Cette maintenabilité repose sur plusieurs conditions :

a) facilité de localisation d'un élément défectueux ;
b) l'accès physique à cet élément défectueux ;
c) la possibilité réelle de remplacer cet élément.

Le point a) repose sur deux possibilités :

1) la simulation du système telle qu'elle a été décrite dans ce même paragraphe ;
2) la possibilité d'autodiagnostic.

L'autodiagnostic est la faculté de localiser un défaut de fonctionnement soit à partir des informations acquises et leurs distorsions éventuelles, soit par des contrôles systématiques inclus dans la logique. L'autodiagnostic peut être signalé au calculateur par la logique ou mis en évidence sous contrôle programme. Ces deux facilités que sont la simulation et l'autodiagnostic n'influencent que le paramètre temps d'accès à la panne éventuelle mais c'est de toute évidence la composante essentielle du temps nécessaire à la réparation.

Le défaut localisé doit pouvoir être éliminé rapidement; ceci impose que les points b) et c) soient acquis.

L'implantation des composants, la modularité seront des points essentiels de la réalisation pratique et sont autant de contraintes influençant le choix parmi les solutions qui apparaîtront au chapitre IV.

III.7. L'APPROCHE DES PROBLEMES DU COUT.

Le paragraphe II.7 a situé le cadre général de l'analyse du coût. Sans revenir sur la valeur des témoins utilisés, il s'agit de dégager des critères qui orienteront la réalisation. Ces critères ne s'appliquent pas uniquement à l'électronique mais à l'ensemble en tant que système d'acquisition de données.

III.7.1. Au niveau conception globale.

a) Elimination maximale des événements ambigüs (paragraphe III.3.1.2) gros consommateurs de temps de traitement et, par conséquent, coûteux en temps d'exécution et en volume mémoire ;

b) Choix d'un format de données aisément exploitable ;

c) Nécessité d'un compromis raisonnable entre le volume des données correspondant à un événement et une relative imprécision de la mesure , c'est-à-dire entre la description la plus complète des événements , de manipulation ou traitement peu aisé et un volume plus restreint représentant correctement la grande majorité des événements.

d) Le coût d'exploitation étant lié directement à la fiabilité du système d'acquisition, les remarques du paragraphe III.6 restent entièrement valables.

III.7.2. Au niveau de la partie électronique.

Il faut tenir compte de l'échelle relativement faible du projet en termes de nombres de voies de détection. Deux possibilités au niveau composants :

a) Utilisation de composants simples et d'emploi répétitif, ce qui permet d'obtenir des prix sensiblement plus bas pour les composants.

b) Utilisation des technologies les plus avancées au taux d'intégration élevé : ex. circuits multi-amplificateurs.

Le choix b) doit être retenu car :

1) Le coût d'une fonction électronique décroît dans le temps ;

2) Un niveau d'intégration élevé réduit le travail d'assemblage, le volume de connectique nécessaire et la puissance installée.

3) La diminution du volume de travail est un facteur d'accroissement de la fiabilité (coût d'exploitation).

4) L'obsolescence des composants est beaucoup plus rapide pour des composants standard, ce qui, à long terme, peut poser des problèmes d'approvisionnement ou de coût de cet approvisionnement. La figure III.7.1 illustre le point 4. Pour un circuit intégré la vie utile ne dépasse pas 6 à 8 ans.

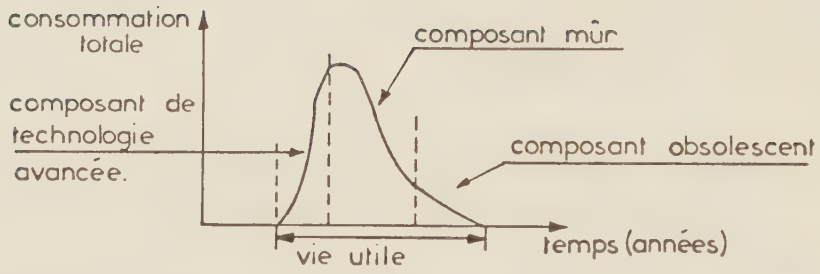


Fig. III.7.1. Vie utile d'un composant.

Le choix b) a cependant deux inconvénients majeurs :

1) Risque de ne pas disposer d'une seconde source d'approvisionnement et en conséquence des délais de livraison plus longs.

2) Peu de compétition donc niveau de prix plus élevé.

III.7.3. Au niveau connectique.

Utilisation de moyens connectiques souples et aisément modifiables facilitant ainsi : l'adjonction de fonctions, l'amélioration des performances ou le renouvellement de la technologie (technology updating).

III.8. CONCLUSIONS ET RECAPITULATION DU CHAPITRE III.

Le chapitre III a permis d'esquisser les grandes lignes du détecteur HE1. Elles sont rappelées succinctement en prélude aux chapitres IV, V, VI dont la vocation est de cerner, parmi les solutions possibles, la structure fine du meilleur choix et de dégager la forme finale de la partie électronique et d'un logiciel possible.

III.8.1. On améliore l'analyse en impulsion des particules par l'analyse selon les angles d'entrée dans le spectromètre ; ceci conduit à implanter une chambre X et à prévoir l'implantation d'un détecteur Y ; les caractéristiques des chambres E, X sont rappelées dans le tableau III.8.1. Le nombre de canaux est donné pour E par la résolution, pour X par la précision souhaitable sur la mesure de la composante de l'impulsion dans le plan X.

Tableau III.8.1

		Nombre de voies	Largeur des voies	Longueur des voies
E	"900"	512	2 mm	50 mm
	"600"	512	4 mm	100 mm
X	"900"	160	8 mm	50 mm
	"600"	192	12 mm	100 mm

III.8.2. L'utilisation de chambres à fils conduit aux conclusions suivantes :

a) Seule la lecture fil à fil ou par groupes de fils est en mesure d'assurer la rapidité nécessaire.

b) Vu les caractéristiques en temps des chambres à fils,il est nécessaire d'implanter deux détecteurs R et Y rapides dont la meilleure position est de part et d'autre de la chambre X. Leur vocation est de définir l'instant de passage de la particule, pour une utilisation au niveau d'un ou de deux spectromètres (coïncidence).

c) Compte tenu de l'inclinaison des trajectoires sur les plans de détection

1) Toute information est définie par un "paquet" de voies consécutives dont on veut connaître l'origine et l'extension.

2) Le temps mort $\simeq$ 1 µs après passage de la particule est valable pour l'étendue du paquet.

III.8.3. Les valeurs moyennes maximales des comptages impliquent :

a) La création d'une mémoire tampon rapide (temps d'écriture 50 ns) dans la logique d'acquisition ;

b) La création de zones tampons en mémoire calculateur 2 par type d'événements : électron, proton, ou coïncidence. La taille de ces zones tampon est $\geq$ à 64 événements ;

c) Dans le cas des expériences (e,e'p), le comptage en simple sera réduit d'un facteur 1/n ; cette fonction sera câblée externe.

III.8.4. La réjection du bruit de fond particules s'exercera par :

a) Définition de l'instant de passage pour chaque spectromètre (coïncidence (R,Y)) ;

b) Sélection de la particule en vitesse (détecteur Čerenkov) ;

c) Application de tables de directivité E, X ;

d) Mesure et correction de l'intervalle de temps séparant l'électron et le proton (e,e'p) ;

e) Cette réjection devra être renforcée par une prise d'information sélective.

III.8.5. La corrélation entre les deux particules - expériences (e,e'p) - s'effectuera :

a) Par la création de marqueurs coïncidences ;

b) Par la mesure du temps séparant les deux particules ;

c) Par une fonction câblée externe qui réalisera le regroupement des données relatives à l'électron, au proton et la mesure de temps.

III.8.6. Le traitement en ligne doit permettre :

a) Le traitement individuel des événements simples ;

b) Le traitement et la visualisation d'histogrammes ;

c) Le traitement des coïncidences pour les expériences (e,e'p).

Le partage de ce traitement entre fonctions externes et programme implanté en l'ordinateur devra faire l'objet d'une étude poussée, compte tenu de l'impossibilité d'absorber le taux de comptage moyen maximal envisagés à l'aide du seul ordinateur d'acquisition.

III.8.7. L'exploitation, la maintenance s'appuient :

a) Sur des ensembles électroniques et un logiciel de simulation ; cette simulation doit pouvoir s'injecter à différents niveaux.

b) Sur des structures électroniques permettant un certain degré d'autodiagnostic.

c) Sur des implantations physiques permettant un accès aisé aux éléments défectueux.

III.8.8. L'analyse du coût sera conçu :

a) Au niveau système ;

b) En tenant compte des coûts d'exploitation ;

c) De façon à favoriser l'utilisation de technologies avancées et de techniques connectiques permettant une régénération technologique du système.

III.8.9. Quelques données numériques.

Largeur moyenne du cluster : 4 à 6 mm

Temps mort moyen par cluster : 0,5 µs

Taux de comptage maximal/cluster (pertes 1%) : 0,4/10 µs

Pertes par cluster pour taux incident uniforme m = 30/10 µs

$E_{"900"}$: 9×10^{-3}

$X_{"900"}$: $1,8 \times 10^{-2}$

$E_{"600"}$: 6×10^{-3}

$X_{"600"}$: $1,5 \times 10^{-2}$

Pertes liées au temps mort de la mémoire tampon (4 evts/10 µs) : 1%

Nombre d'événements fortuits par spectromètre
BdF sur R et Y = 30/10 µs - Durée de coïncidence 2τ = 20 ns : 1,8

Nombre de coïncidences fortuites "900" "600" (2τ = 40 ns) : # 100/s

Taille minimale d'un buffer d'acquisition en mémoire ordinateur : 64 evts

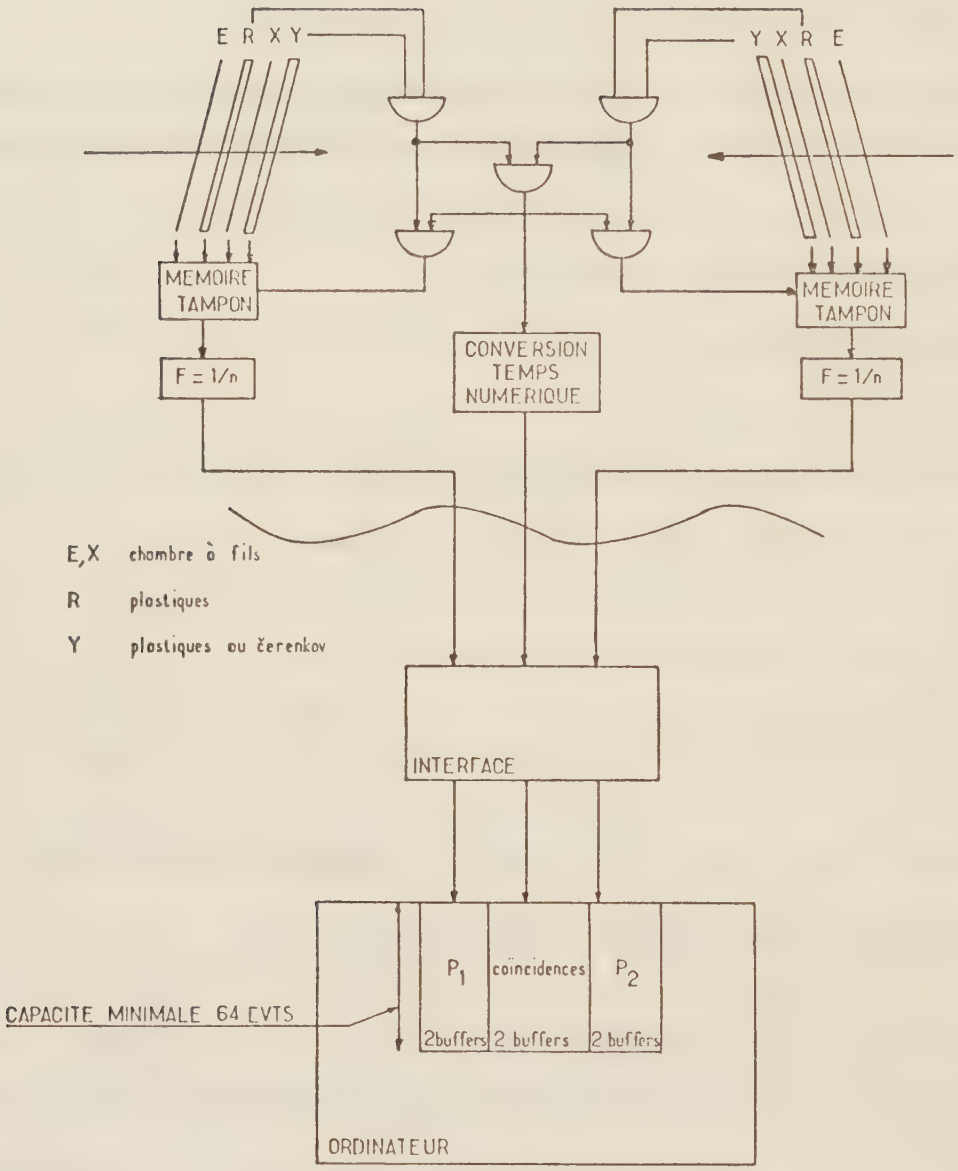


Fig. III.8.1

Schéma de principe de la détection et de la prise d'information.

Chapitre IV

Remarques générales :

L'étude de la chaîne de prise d'information est effectuée sur la base des conditions les plus critiques, telles qu'elles ont été définies au chapitre II.

La similitude des problèmes à traiter pour les expériences (e,e') et (e,e'p) impose des solutions analogues pour les chaînes de détection et d'acquisition associées à chacun des spectromètres et permet le passage rapide d'un type d'expérience à l'autre. La flexibilité d'emploi implique l'indépendance de chaque voie d'acquisition. La réalisation d'expériences de coïncidences impose la simultanéité des acquisitions et le regroupement des événements en coïncidence. Le système global d'acquisition de données est donc composé de trois voies dont deux sont sensiblement identiques, la troisième étant la fonction regroupant les données de l'électron, du proton et de la mesure du temps qui les sépare.

L'identité de structure présente de grands avantages tant du point de vue réalisation qu'exploitation ou maintenance. Il suffira de définir la structure et la qualité des chemins de l'information pour l'un ou l'autre des spectromètres ainsi que celle du "corrélateur". Des tableaux de valeurs numériques suffiront alors pour caractériser l'une ou l'autre des voies.

Les problèmes de traitement de l'information en temps réel sur l'ordinateur d'acquisition ne seront pas abordés directement dans ce chapitre ; en effet, bien que présentant des parties communes, ils sont par trop spécifiques des expériences qu'ils servent.

IV.1. L'ENSEMBLE DE DETECTION.

Le tableau IV.1.1. récapitule les caractéristiques géométriques des détecteurs ; déterminées à partir des paramètres des spectromètres.

Tableau IV.1.1

		"900"	"600"
Plan E	Longueur utile	1024 mm	2048 mm
	Longueur des fils	50 mm	100 mm
Plan X	Longueur utile	1280 mm	2304 mm
	Longueur des fils	50 mm	100 mm
Plan R	Scintillateurs	plastique 1 cm	plastique 1 cm
	Photomultiplicateurs	56 DVP	56 DVP
Plan Y	Scintillateurs	plastique 1 cm	plexiglass (Čerenkov)
	Photomultiplicateurs	56 DVP	58 DVP

Un détecteur Čerenkov est également utilisé pour les expériences (e,e').

Les schémas IV.1.1 et IV.1.2 définissent l'implantation pour chacun des spectromètres.

IV.1.1. Analyse des plans E et X.

Le nombre de canaux de détection pour chacune des chambres est rappelé dans le tableau IV.1.2.

Tableau IV.1.2

	"900"		"600"	
	E	X	E	X
Nombre de canaux	512	160	512	192
Fils consécutifs groupés	1	4	2	6
Largeur des canaux (mm)	2	8	4	12

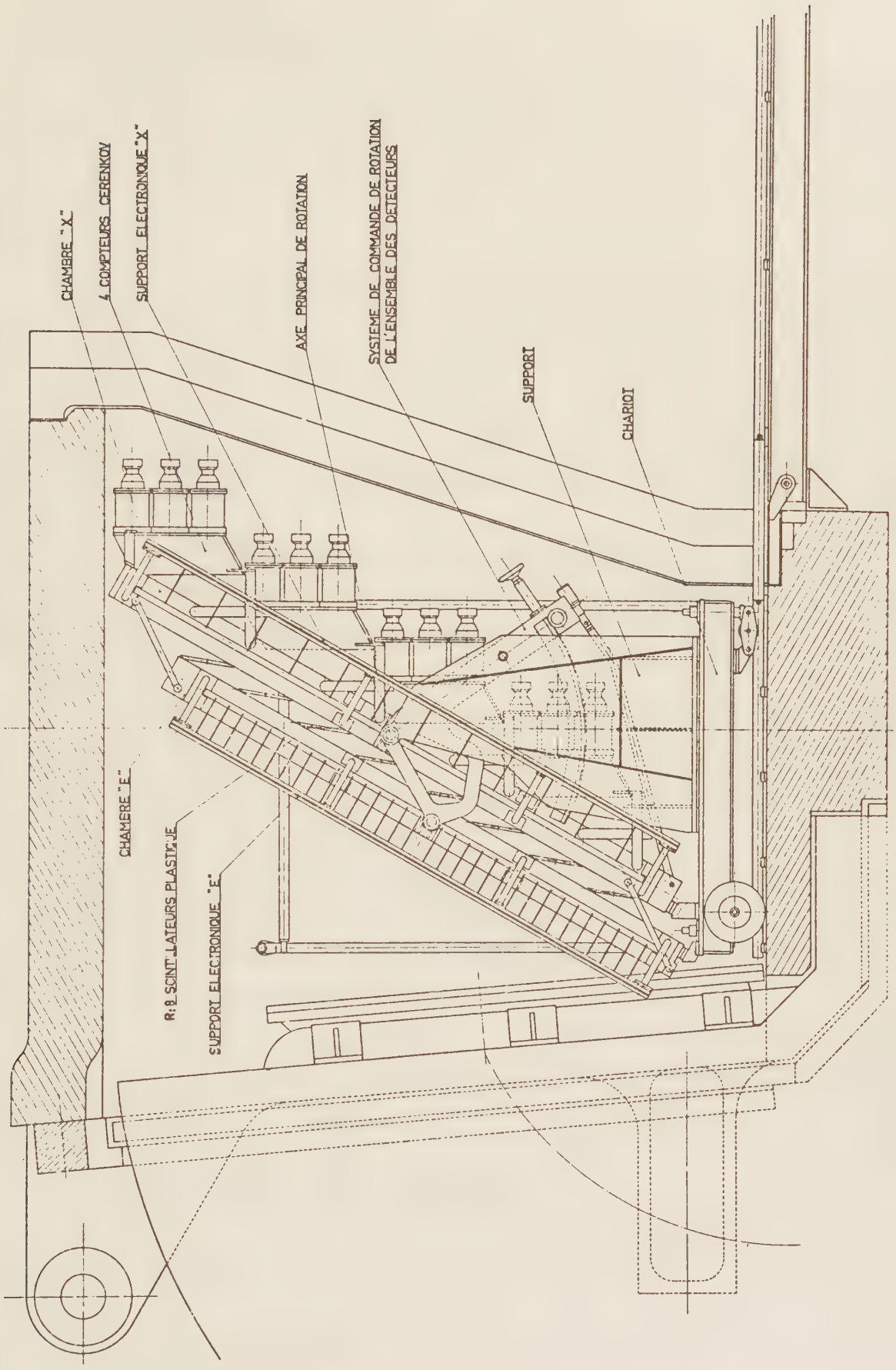


Fig. IV.1.1. Implantation des détecteurs dans le "600"

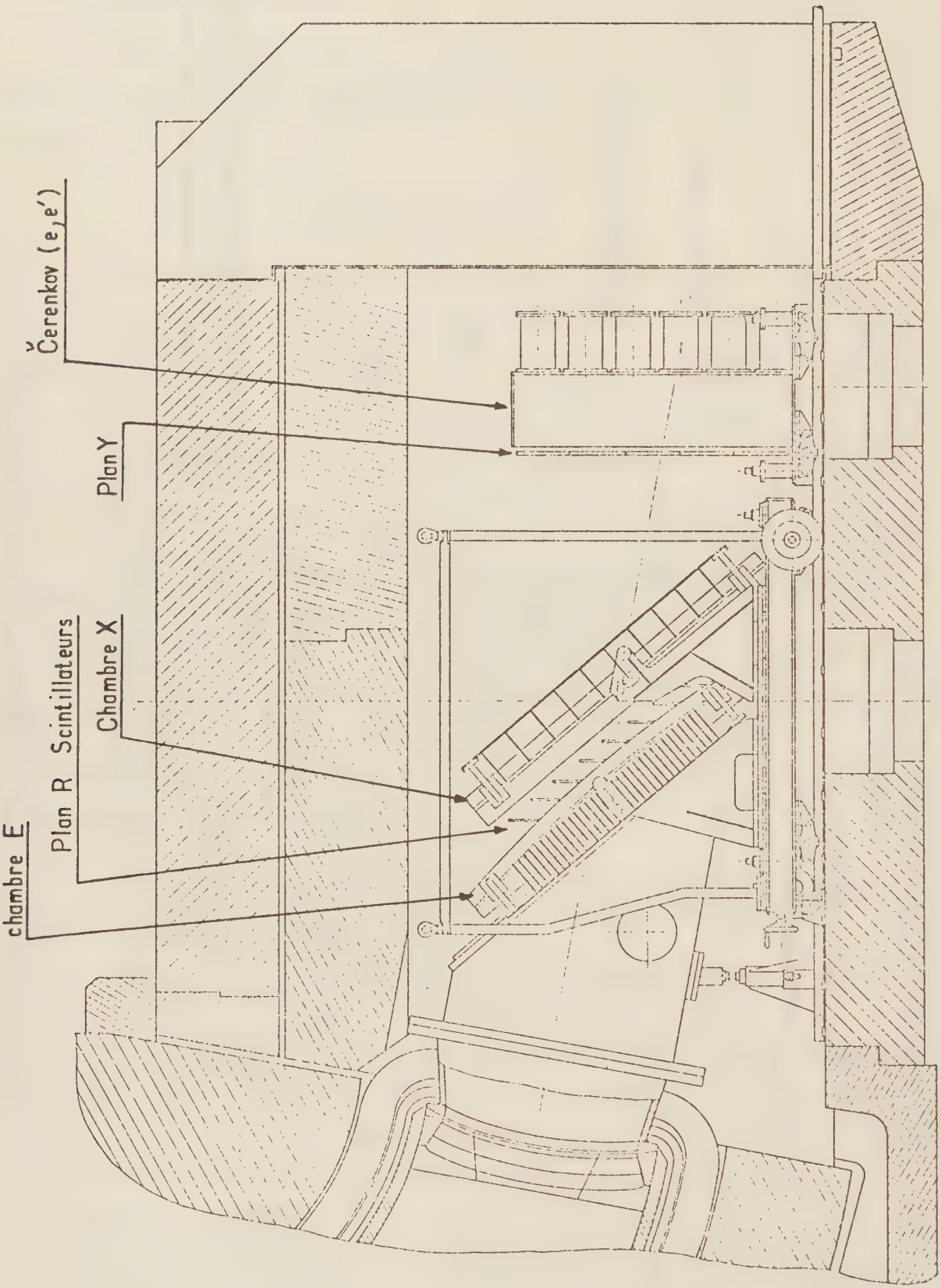


Fig. IV.1.2. Implantation des détecteurs dans le "900"

Constitution des canaux.

Toutes les chambres sont constituées de fils espacés de 2 mm afin de préserver une certaine standardisation des procédés de fabrication ; les canaux sont donc constitués à partir de multiples de cet espacement par simple connexion de fils adjacents sur une impédance commune.

IV.1.1.1. Comportement de fils reliés. Les charges utilisées sur les fils sont des résistances de 200 Ω environ, la capacité parasite due à la connexion vers les amplificateurs, l'amplificateur et le fil, est voisine de 100 pF. Sur ces impédances, le signal a des caractéristiques variant légèrement en fonction du regroupement opéré ; des études sur ce point ont été effectuées [20] ; les résultats en sont brièvement rappelés ci-dessous :

. amplitudes : l'amplitude moyenne varie comme : $\frac{n-0,4(n-1)}{n}$ [20] n étant le nombre de fils reliés. Par ailleurs, et d'une manière très compréhensible pour des incidences obliques, les dispersions d'amplitude sont sensiblement réduites.

. fluctuation en temps : le temps de montée des impulsions est légèrement dégradé par l'accroissement de la charge capacitive. Pour des incidences obliques, la valeur moyenne de la fluctuation est légèrement réduite, le fil le plus "rapide" imposant son temps.

IV.1.1.2. Perte d'énergie dans la chambre. Pour des électrons de 400 MeV, l'énergie perdue, compte tenu de l'angle d'incidence moyen des particules, est de 72 keV pour des fenêtres de 60 μm, et de 80 keV pour une zone gazeuse de 15 mm.

IV.1.1.3. Diffusion multiple. L'angle moyen de diffusion multiple, compte tenu de l'angle d'incidence moyen des particules est $\sqrt{\langle \theta^2 \rangle_{proj}} \# 10^{-3}$ radian pour les électrons de 400 MeV.

IV.1.2. Les plans de détection rapide.

Les plans R et Y, constitués de scintillateurs plastiques ou Čerenkov (Y), définissent l'instant de passage de la particule.

IV.1.2.1. Partition des plans R. Elle répond à deux objectifs : i) permettre l'utilisation de petits scintillateurs ayant une meilleure résolution en amplitude et en temps ; ii) permettre une meilleure protection contre le bruit de fond particules. Le bruit de fond particu-

les peut être en effet fortement rejeté au niveau chambres en utilisant "l'ombre projetée" des scintillateurs sur les chambres (Fig. IV.1.3). Les scintillateurs se recouvrant pour éviter des "trous de détection". Une particule pourra déclencher deux photomultiplicateurs (cas des frontières entre scintillateurs).

Le relevé de la configuration des photomultiplicateurs permet de limiter la scrutation des chambres à la zone vue par les scintillateurs correspondants. Ceci a plusieurs conséquences :

. rejet du bruit de fond présent sur la partie non vue par les scintillateurs ,

. levée d'ambiguïtés sur les couples (E,X). On rejettera tous les événements E validés par X [(E,X) directifs] mais non par les scintillateurs (plusieurs événements séparés en temps au niveau scintillateurs),

. diminution sensible du volume d'information à traiter. La limitation de la prise d'information à une fraction de la surface des chambres entraîne une diminution tant de la mémoire tampon que de la taille des buffers en mémoire ordinateur. Elle a également pour effet d'accélérer le traitement d'un événement.

IV.1.2.2. Choix d'une partition.

Remarque préliminaire : Réaliser une partition du plan R n'implique pas que les scintillateurs aient tous la même surface. On peut envisager d'avoir une meilleure réjection de bruit dans une région du plan focal et, par conséquent, d'avoir une partition plus fine dans cette région.

Si la réalisation d'une partition présente de nombreux avantages au niveau de la prise d'information, elle présente quelques inconvénients aux niveaux suivants :

1) implantation mécanique,

2) électronique associée aux photomultiplicateurs. La multiplication des signaux entraînant celles des tiroirs discriminateurs d'amplitudes, des tiroirs distributeurs nécessaires, des tiroirs de compensation de retard, etc .,

3) Réglage, contrôle et criticité de la chaîne électronique rapide.

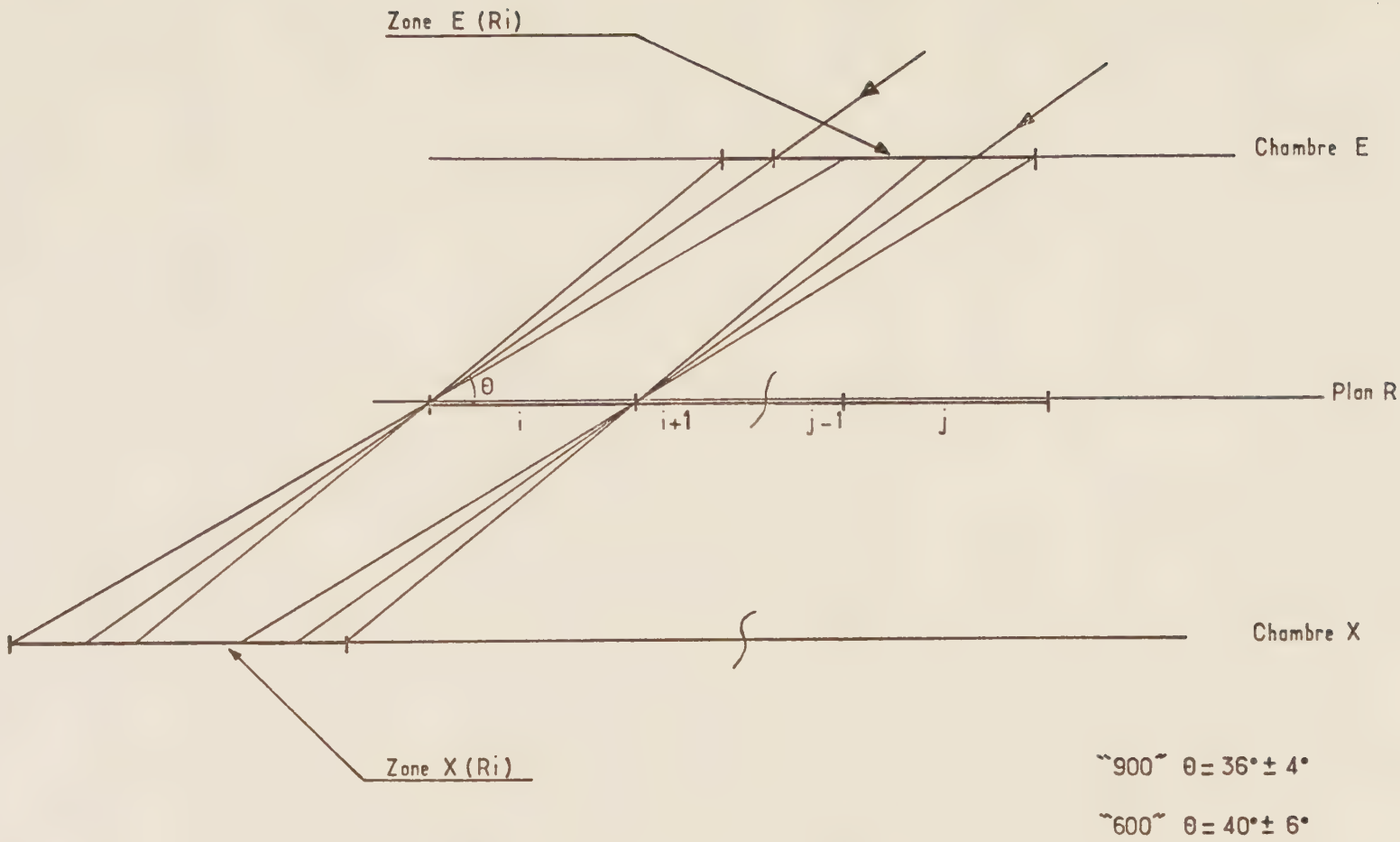


Fig. IV.1.3. Pour chaque événement les scintillateurs R déterminent les zones utiles des chambres.

L'insertion nécessaire de ces ensembles dans les casemates entourant les détecteurs entraîne la mise en oeuvre de procédures et de moyens de réglages à distance des différentes grandeurs intervenant dans la chaîne rapide :

. haute tension des photomultiplicateurs,

. positionnement des seuils de discriminateurs,

. équilibrage des retards sur les différentes voies rapides,

. systèmes de tests des photomultiplicateurs (photoémetteurs).

La multiplication de ces télé-réglages rend plus délicates la mise au point de l'électronique rapide associée à un ensemble de détection, ainsi que l'interaction de cette partie de l'ensemble électronique avec le reste de la chaîne de prise d'information. Les figures IV.1.4 a et b illustrent la différence de complexité dans la structure de la chaîne rapide pour un plan R constitué d'un seul scintillateur et un plan R partitionné en 8 zones.

4) Le coût de l'ensemble est assez rapidement grevé si l'on admet que le prix d'un photomultiplicateur rapide et de l'équipement électronique associé avoisine 10 000 F.

En conclusion,choisir une partition du plan R, c'est réaliser un compromis entre les gains découlant d'une amélioration de la qualité de l'information et un certain alourdissement de l'ensemble. Le tableau IV.1.7 permet la comparaison entre différentes partitions. Les hypothèses employées reflètent des conditions supposées maximales de bruit de fond et de taux de comptage uniformément répartis. Elles ne sont pas valables pour des expériences (e,e') pour lesquelles le comptage peut être pratiquement concentré sur quelques canaux.

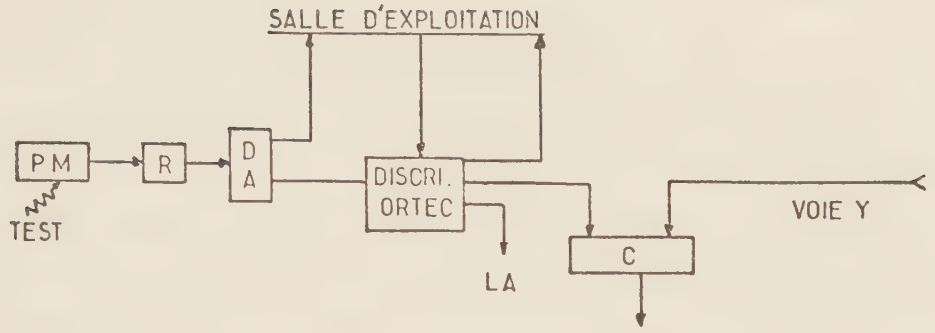
Hypothèses

1) Taux de comptage moyen événement + bruit de fond $m_t = 30$ par impulsion faisceau.

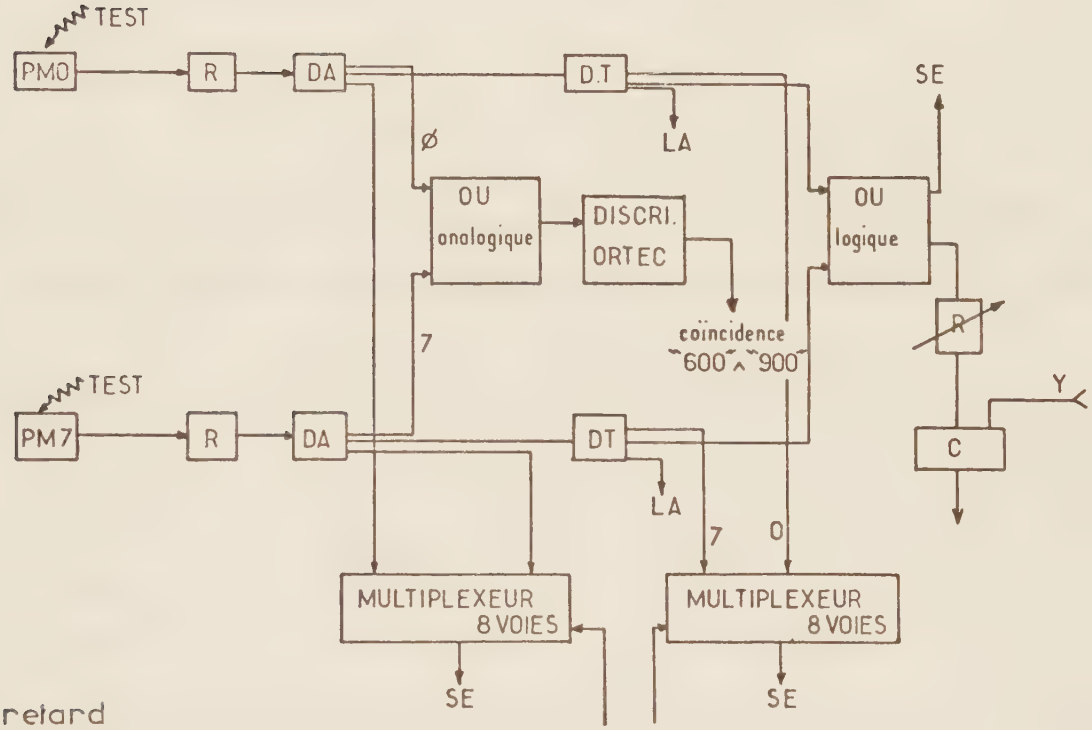
2) Nombre d'événements par impulsion faisceau $m = 4$.

3) La densité du bruit de fond est identique sur les plans R, E, X , Y.

4) Le temps de présence d'un événement sur une chambre est évalué à 160 ns (100 ns de mise en forme, 60 ns de jitter). Ceci correspond à l'extension maximale en temps d'un paquet de canaux consécutifs au niveau de l'échantillonnage en mémoire.



a) 1 seul photomultiplicateur



R retard
DA distributeur analogique
C coïncidence
DT discriminateur télécommandé
LA logique d'acquisition
SE salle d'exploitation

b) 8 photomultiplicateurs

Fig. IV.1.4. Electronique associée aux photomultiplicateurs. Comparaison de deux partitions.

Définition : On appelle événements multiples :

1) au niveau des photomultiplicateurs : des configurations de la partition de R où plusieurs photomultiplicateurs seront déclenchés dans un intervalle τ nécessaire au relevé de cette configuration. Ces configurations traduisent des coïncidences fortuites entre de vrais événements et un événement ou le bruit de fond.

2) au niveau des chambres : des événements qui traduisent la présence simultanée, à l'intérieur d'une zone vue par un scintillateur dans 160 ns, de deux informations dont l'une au moins est vraie.

Calcul du taux de multiples photomultiplicateurs

$$N_m = 2\tau \; N_{bdf} \times N_{evt} \quad \text{sans partition}$$

$$N_{mz} = 2\tau \times N_{Bdf} \times \frac{1}{n} \times N_{evt} \times \frac{1}{n} = \frac{N_m}{n^2}$$

N_{bdf} = comptage bruit de fond ; N_{evt} = comptage événement ; n = partition.

Au total le nombre de multiples entre photomultiplicateurs est :

$$N_{mn} = N_m - n \times N_{mz} = N_m \left(1 - \frac{1}{n}\right)$$

Application

$\tau = 10$ ns $\qquad N_m = 0{,}208$

$\tau = 20$ ns $\qquad N_m = 0{,}416$

Le taux de multiples entre bruit de fond et événements est donné par

$$\left(\frac{N_{\text{multiples}}}{N_{\text{événements}}}\right)_{\tau=10 \text{ ns}} = 5{,}02\%$$

$$\left(\frac{N_{\text{multiples}}}{N_{\text{événements}}}\right)_{\tau=20 \text{ ns}} = 10{,}04\%.$$

Tableau IV.1.7

1	2	4	8	16	Partition réalisée
1	2	4	8	16	Nombre de voies scintillateurs + photomultiplicateurs
30	15	7,5	3,75	1,88	Taux de comptage moyen/zone
NA	2,5%	3,8%	4,4%	4,7%	τ = 10 ns } taux de multiples photomultiplicateurs
NA	5%	7,5%	8,8%	9,4%	τ = 20 ns }
41%	21%	10%	5,2%	2,5%	Taux de multiples sur une zone chambre
100%	84%	40%	22,8%	11%	Taux de multiples maximal sur 4 chambres
10 000	20 000	40 000	80 000	160 000	Coût en francs

NA : non applicable

Remarque 1 : Les chiffres relatifs aux taux de multiples ne prennent pas en compte le recouvrement partiel de scintillateurs consécutifs, les configurations résultantes n'étant pas fortuites ; en effet le taux de ces configurations liées au recouvrement avoisine 20% pour le spectromètre "600" et 40% pour le "900" (cas d'une partition de 8).

Remarque 2 : Les hypothèses concernant la distribution du comptage selon les plans de détection, le long de ces plans et à l'intérieur de l'impulsion faisceau, ne sont guère réalisées lors des expériences réelles en raison : i) de la "physique" ; ii) de la structure du faisceau. Cependant la condition d'uniformité du bruit de fond le long du plan est plus véridique.

Remarque 3 : Le taux de multiples au niveau des chambres ne prend pas en compte la récupération possible d'une partie des bons événements par l'application du test de directivité E/X qui sera effectuée dans l'ordinateur.

Conclusion sur le paragraphe IV.1.2.2.

Le taux de configurations multiples PM reste de l'ordre de quelques % quelle que soit la partition ; cependant ces taux sont trop élevés pour que l'on puisse simplement rejeter ces cas.

Le taux de multiples au niveau des chambres décroît sensiblement lorsque l'on partitionne le plan R.

Une partition en 8 du plan R conserve, dans les conditions maximales, un taux de configurations multiples assez bas sur les zones chambres sans trop alourdir l'ensemble de détection. La prise d'information devra donc permettre également la prise en compte des multiples photomultiplicateurs et des multiples chambres.

Remarque : Le traitement de multiples sur les chambres allonge sensiblement le temps moyen de traitement d'un événement ; il est imaginable de rejeter purement et simplement ces configurations pour accroître la vitesse de comptage. Cependant, cette hypothèse ne serait valable que dans le cas d'un spectre plat, au total peu informant.

IV.1.2.3. Cas des configurations multiples. Sauvegarder l'information correspondant aux multiples consiste à doubler la capacité d'information décrivant un événement, l'information perdue concernant alors les événements triples au moins ; leur probabilité est suffisamment faible pour être considérée comme marginale.

Pour les multiples photomultiplicateurs.

Il faudra examiner les zones correspondant à chaque scintillateur, donc scrutation de deux zones de la chambre.

A l'intérieur des zones chambres.

Il faudra, pour chaque événement multiple, pouvoir prendre deux traces.

IV.1.2.4. Caractéristiques des scintillateurs et photomultiplicateurs associés aux plans de détection rapide.

Tableau IV.1.8

Partition R	"600" 8	"900" 8
Dimensions scintillateurs R (en mm)	225 x 130 x 10	120 x 30 x 10
Photomultiplicateurs	56 DVP	56 DVP
Angle moyen de diffusion multiple (électrons 400 MeV)	$\sqrt{\langle\theta^2\rangle_{proj}} = 10^{-2}$ radian	
Dimensions Y (mm)	4 Čerenkov 440 x 190 x 160	5 scintillateurs 220 x 150 x 15
Y $\frac{(e,e')}{(e,e'p)}$	Čerenkov	Čerenkov Scintillateurs

IV.1.3. Conclusions sur le paragraphe IV.1.2.

Ce paragraphe a permis de montrer que :

a) la réalisation d'une partition du plan R associée à l'utilisation de la directivité des particules permet de sélectionner les zones utiles des chambres et de purger l'information du bruit de fond ambiant ;

b) une partition n = 8 permet de réaliser un rejet suffisant pour abaisser à quelques % le taux des événements ambigus sans trop alourdir l'ensemble (tableau IV.1.7).

c) un rejet plus poussé des informations ambiguës ne peut être réalisé qu'en permettant la prise d'informations supplémentaires.

Il faut noter que le test de directivité E/X sur les événements ne peut prendre place qu'au niveau programme après la reconstitution des événements E et X correspondants. Compte tenu que cette réjection E/X est opérée avec la finesse d'un canal, il n'est pas nécessaire que la réjection liée à la partition R soit faite avec une telle précision.

Il faut noter qu'en ce point de la définition de l'ensemble de prise d'information,les grandes lignes de la structure sont dessinées puisque : i) les taux de comptage élevés sont assurés dans la partie détecteur et électronique et que ii) l'ensemble des moyens de réjection du bruit vient d'être renforcé par un choix sélectif de l'information (paragraphe III.8.4.).

Il reste à définir la méthode et les fonctions permettant la mise en oeuvre des principes retenus.

IV.2. L'INFORMATION A TRAITER.

IV.2.1. Evaluation du volume d'information nécessaire à la description d'un événement.

IV.2.1.1. Influence de la partition.

1) La sélection des données utiles par la partition du plan R peut être effectuée soit par une fonction électronique, soit par le programme dans l'ordinateur. Cette dernière méthode n'autorise pas un comptage élevé puisque l'information n'est pas sélectionnée à la source et que la charge en incombe au programme ; il faut donc créer une fonction externe de sélection pour chacun des spectromètres.

2) Du paragraphe IV.2.2. ressort la nécessité :

a) de scruter deux zones sur chaque chambre pour faire face au taux de multiples photomultiplicateurs.

b) de réserver, pour chacune des zones, la possibilité de prendre deux traces (élimination des multiples dans une zone chambre).

On peut sur cette base recenser les différents cas à partir de la figure IV.2.1. Les informations issues des chambres nécessitent pour chaque spectromètre un volume d'information compris entre un couple (E,X) et quatre couples (E,X)

$$(E,X) \leqslant D \leqslant 4\ (E,X)\ .$$

Chaque chambre E ("900" ou "600"), ayant 512 voies, nécessite un définisseur à 9 bits pour définir l'origine du paquet de fils consécutifs touchés. Les chambres X nécessitent 8 bits : $160 \leqslant X \leqslant 192$. La taille d'un paquet varie selon le groupage sur les chambres. Le mode de définition et de codage d'un paquet seront étudiés lors de la définition de la structure de la prise d'information issue de chaque chambre, mais il paraît nécessaire de réserver quelques bits d'information à la mesure de la taille de chaque paquet.

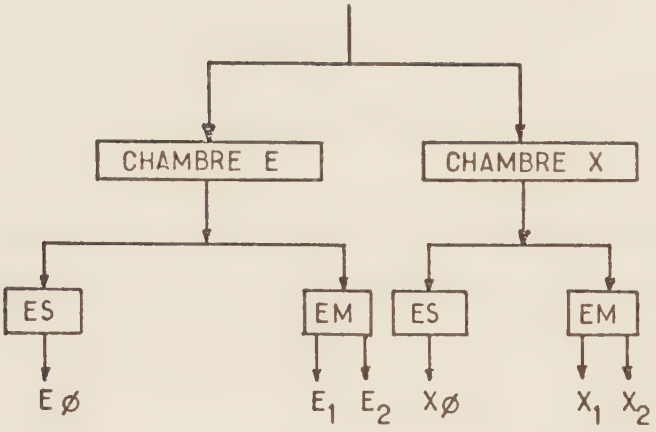
3) L'enregistrement de la configuration brute (R_i) nécessite 8 bits d'information par événement.

4) La réservation de la possibilité d'une partition du plan Y nécessite également 8 bits (chapitre III).

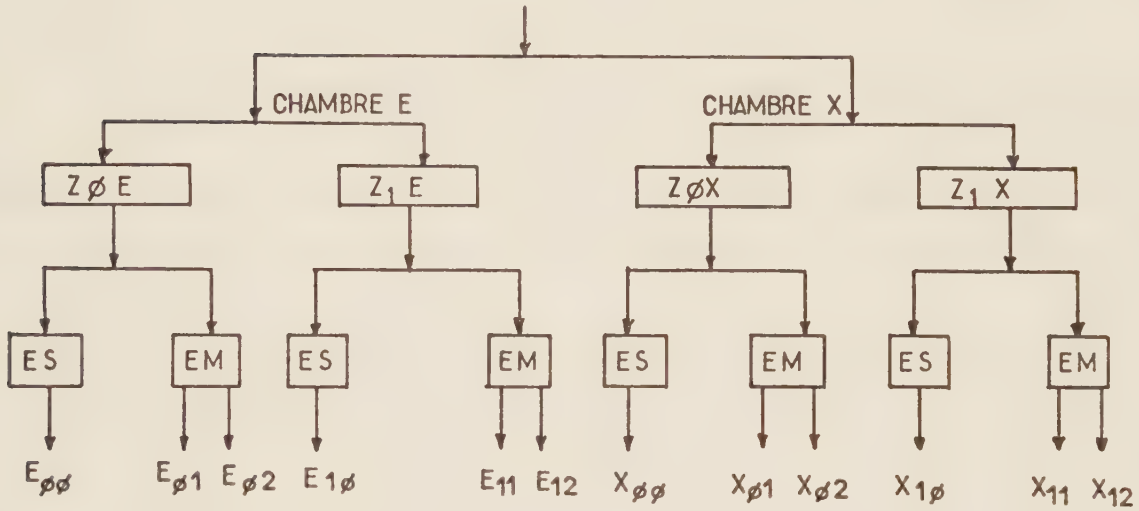
IV.2.1.2. Informations indépendantes de la partition.

1) La mesure du temps séparant l'électron et le proton pour les expériences (e,e'p) nécessite 8 bits au maximum (examen d'une plage de quelques dizaines de ns avec une résolution de 100 ps à 300 ps).

2) Différents marqueurs : i) marquage coïncidence (expériences e,e'p, chapitre III.4 ; ii) événements autorisés par la fonction 1/n. On peut envisager d'autres marqueurs mais le nombre total de bits d'information à réserver reste faible : 8 bits semble un maximum.



a) configuration photomultiplicateur simple



b) configuration multiphotomultiplicateurs.

ES événement simple
EM événement multiple

Fig. IV.2.1. Recensement des multiplicités.

IV.2.1.3. Nombre de mots PDP 15 par événement.

$$N = \frac{\sum \text{bits nécessaires}}{18}$$

32= 8R + 8Y + mesure de temps + 8 bits de marquage

17= E + X

$$\frac{32 + 17 + 2 \text{ déf. taille paquet}}{18} < N < \frac{32 + 68 + 8 \text{ déf. taille paquet}}{18}$$

Ceci met en évidence la variation possible d'un événement en termes de mots mémoires de l'ordinateur d'acquisition et pose le problème de la présentation de l'événement à l'ordinateur et des moyens fournis au programme pour délimiter et traiter l'information

IV.2.2. Le problème du format.

Pour faciliter l'appréhension des problèmes du traitement de l'information, le format sera évalué en multiples de mots PDP 15. Deux approches : format constant ou format variable sont possibles.

IV.2.2.1. Format variable. On décrit les événements dans leur totalité : adresse, origine, extension du paquet ; dans le cas de multiples traces sur les chambres E et / ou X, l'opération est répétée pour chaque trace. Il faut donc définir par un ou plusieurs mots descripteurs, i) le nombre de traces sur chaque chambre ; ii) l'implantation des données relatives aux différentes traces. L'occupation d'espace mémoire dans l'ordinateur variera donc d'un événement à l'autre en fonction du taux de comptage instantané, du bruit de fond ou de l'extension des traces.

IV.2.2.2. Format constant. Définir un événement par un format constant c'est :

- limiter le nombre de traces que l'on pourra prendre en compte ;
- limiter l'extension du descripteur de chaque trace (distorsion) ;
- imposer l'implantation des données relatives à chaque détecteur.

La nécessité de ne pas rejeter trop d'informations impose un format conséquent.

IV.2.2.3. Sélection format variable/format constant.

Remarque : Dans l'hypothèse de traces multiples, la définition complète d'un événement ne permet pas nécessairement de lever les ambiguïtés du type de celles décrites au paragraphe III.3.1.2.

Comparaison des deux approches.

Cette comparaison peut s'effectuer du point de vue du traitement de l'événement, de la gestion de l'expérience et de la complexité de codage du format au niveau électronique.

a) Traitement de l'événement.

- Occupation mémoire : le format variable est sensiblement mieux adapté à une large gamme de taux de comptage d'événements et/ou de bruit de fond particules. En conséquence la taille des buffers d'acquisition en mémoire est assez faible en moyenne.

- Temps de traitement : le format fixe présente l'avantage certain d'un temps de traitement plus court, car il n'est pas nécessaire d'analyser le descripteur du format. Dans un format fixe les zones vides présentent des configurations caractéristiques aisément reconnaissables par programme.

b) Gestion de l'expérience. Le format fixe présente plusieurs avantages : les événements, et par conséquent les buffers d'acquisition, occupent des places déterminées en mémoire ce qui entraîne : une simplification de la commutation des buffers, une simplification importante du contrôle de l'entrée des événements. Le passage d'un événement à un autre suppose simplement l'incrémentation d'un index, de la dimension du format.

c) Au niveau logique de mise sous format. Le format fixe c'est :

. simplicité de la mise sous format ;

. simplicité de la transmission, salle expérimentale salle d'acquisition (nombre constant de bits d'information à transmettre) ;

. simplicité de l'interface

. simplicité de simulation d'un événement. Ce dernier point est fondamental comme l'a montré le paragraphe III.6 notamment pour la mise au point des programmes.

En conclusion du paragraphe IV.2.2. , un format fixe présente quelques inconvénients , occupation mémoire, taux de distorsion à taux de comptage élevé, mais présente de nombreux avantages relatifs au temps de traitement et à l'exploitation de l'expérience. Il paraît donc judicieux de le choisir en imposant qu'il accepte les configurations maximales correspondant à 4 couples (E,X) (Fig. IV.2.1).

IV.2.3. Traitement interne, traitement externe.

IV.2.3.1. Remarque préliminaire sur la mise en opération du système HE1. Un système complexe tel que celui envisagé, subissant de nombreuses contraintes plus ou moins évaluables (ex. évolution de l'intérêt envers certains types d'expériences), ne peut atteindre son "régime de croisière" qu'après une certaine période de mise au point, période pendant laquelle une large gamme d'expériences est réalisable ; mais également période d'apprentissage. Cette période doit être mise à profit pour ajuster les prévisions aux réalités, hiérarchiser les évolutions nécessaires. Un exemple peut éclairer ce point : il peut être intéressant d'améliorer les résolutions E, de distribuer une partie de la puissance d'analyse dans des fonctions externes et enfin d'obtenir une surveillance automatique de l'ensemble expérimental en HE1. La hiérarchie à instaurer entre ces différents objectifs n'est pas très évidente alors que les premières expériences menées avec cet appareillage sont à peine analysées. Dans cette optique un ensemble souple d'emploi doit être conservé jusqu'au point où une décision pourra être prise et si elle peut être prise.

IV.2.3.2. Traitement interne. Le traitement des informations sera réputé interne lorsque l'information issue des dispositifs de détection sera analysée par un programme situé dans l'ordinateur PDP 15. Le volume minimal de cette analyse a été défini au paragraphe III.5. Ce type de traitement présente l'avantage de la souplesse d'emploi et d'une grande modificabilité (possibilité d'édition, d'assemblage, de mise au point des programmes) ; sa vitesse d'exécution est, par contre, limitée par les performances propres à l'ordinateur.

IV.2.3.3. Traitement externe. C'est un ensemble de traitement logique spécialisé, inséré sur le chemin des données en amont de l'ordinateur. Il reçoit les informations issues des détecteurs et exécute

une partie importante du traitement. Le gain recherché se situe essentiellement au niveau du temps d'analyse d'un événement mais il implique également un gain dans le volume mémoire occupé en ordinateur. Cet ensemble ne doit traiter que les événements individuels à l'exclusion de tout calcul scientifique sur des événements intégrés. Le développement d'opérateurs câblés ou microprogrammés en périphériques de l'ordinateur d'acquisition ne relève pas de cette étude.

La part du traitement pouvant être prise en compte par une fonction externe est évaluée à partir d'un compromis entre prix, complexité, gain, délais de réalisation. Ce type de fonction externe est beaucoup moins souple d'emploi qu'un ordinateur ; sa programmation est assez laborieuse et les modifications doivent être rares; on peut cependant montrer, par un exemple simple, l'intérêt d'une telle fonction.

Considérons une expérience pour laquelle on veut, toutes les quatre heures, vérifier la stabilité de la mesure en effectuant une mesure d'efficacité par un spectre quasi plat. Soit 10^6 informations pour l'ensemble du détecteur. On peut établir le tableau IV.2.1 qui donne l'économie,en heures de faisceau,réalisée en fonction de l'accroissement de la capacité d'acquisition pour une séquence où l'on effectue 30 relevés d'efficacité ; la base de comparaison est une capacité de traitement d'un événement par impulsion faisceau.

Tableau IV.2.1

B \ A	1	2	3	4	5	10
10^6	ø	4 h 10	5 h 30	6 h 15	6 h 40	7 h 30
510^6	ø	20 h 50	27 h 30	31 h 15	33 h 20	37 h 30
10^7	ø	41 h 40	55 h	62 h 30	66 h 40	75 h

A : vitesse d'acquisition ; B : statistique

La figure IV.2.2. est une autre formulation du tableau IV.2.1 mais permet de calculer le seuil de rentabilité d'un système externe en fonction du nombre d'heures annuelles assurées et du coût de développement. Cette représentation est cependant grossière dans la mesure où elle ne fait pas le bilan global des gains, que ce soit au niveau du

temps d'expérience proprement dit ou du dégagement de la possibilité d'un traitement plus approfondi en ligne.

Fig. IV.2.2. Gain en fonction de la capacité de traitement

On peut conclure cet exemple en soulignant que l'ensemble de détection doit être conçu en deux phases :

1) La phase de développement et de mise au point verra peu de puissance de traitement affectée aux fonctions externes, la vitesse d'acquisition étant pratiquement définie par l'exécution du programme de traitement d'un événement. Cette phase permettra de définir les besoins de la phase d'exploitation.

2) Une phase d'exploitation pour laquelle le but recherché est d'augmenter la puissance en ligne, l'allocation du traitement individuel des événements à une logique externe représente le maximum de traitement spécifique insérable sur la chaîne d'information.

IV.2.4. Description des fonction externes utilisées.

Les paragraphes précédents du chapitre IV.2. ont montré l'intérêt des fonctions externes dans une phase de "croisière". Il est cependant nécessaire et possible d'introduire quelques fonctions dans la mesure où :

. elles sont programmables : la programmabilité devant être obtenue à partir de la télétype plutôt que par des contacteurs manuels ;

. elles n'hypothèquent aucunement le traitement de l'événement ;

. le coût de leur développement reste faible ;

. le gain en vitesse d'acquisition qu'elles apportent n'est pas marginal.

Liste des fonctions externes introduites

1) fonction de sélection des zones à scruter sur les chambres à partir de la configuration photomultiplicateurs ;

2) fonction de réduction du comptage 1/n (e,e'p) ;

3) fonction de regroupement électron/proton/temps (e,e'p) ;

4) fonction masquage de groupe ;

5) fonction sélection spectromètre (elle ne constitue pas une fonction externe telle qu'elle a été définie mais une facilité opératoire).

Les fonctions 1, 2, 4 existent pour chaque spectromètre, les fonctions 3 et 5 sont communes aux deux.

IV.2.4.1. Sélection des zones à scruter sur les chambres. La configuration ($R_\emptyset$, ..., R_7) est relevée par une coïncidence R_i $[i \in (0,7)]$ avec le marqueur temps du spectromètre.

But : sélectionner à la source (c'est-à-dire au niveau des chambres) les zones intéressantes telles qu'elles sont définies par la configuration des photomultiplicateurs.

Avantages : réduction du fond particules (réf. table IV.1.7) et réduction du volume de l'information à transmettre à l'ordinateur.

Limitations : seules les configurations à un photomultiplicateur et multiples d'ordre 2 seront traitées spécifiquement, le taux des configurations d'ordre 3 étant $\ll 1\%$ pour les taux de comptage maximaux envisagés.

Remarque 1 : Sur les 256 configurations ($R_\emptyset$,..., R_7) possibles (la configuration ($\emptyset\ \emptyset\ \emptyset\ \emptyset\ \emptyset\ \emptyset\ \emptyset\ \emptyset$) étant interprétée comme un défaut), les configurations de multiplicité 2 et les configurations à photomultiplicateur unique sont les seules exigeant un traitement spécifique ; toutes les autres configurations se verront appliquer un traitement identique.

Remarque 2 : Il est possible, soit de calculer les zones pour chaque configuration, soit de consulter une table dans laquelle seraient mémorisées origines et extrémités des zones correspondant à chaque configuration. Cette dernière approche a été retenue car elle est plus rapide et plus facilement réalisable à partir des technologies existantes.

Remarque 3 : En raison du choix d'un format constant ; pour chaque configuration il faut définir 4 zones :

$$Z_{\emptyset}{}^{E} \; ; \; Z_{1}{}^{E} \; ; \; Z_{\emptyset}{}^{X} \; ; \; Z_{1}{}^{X}.$$

Chaque zone est décrite par son origine et son extrémité. Une zone est définie sur la base de groupes de huit canaux consécutifs (il a été vu précédemment qu'une analyse E/X avec une précision d'un canal est opérée au niveau traitement dans l'ordinateur : la définition des zones ne nécessite donc pas une définition au canal pres). Sous ces conditions :

les zones E sont définies par : origine 6 bits
" " " " " " : extrémité 6 bits
les zones X " " " : origine 5 bits
" " " " " " : extrémité 5 bits

a) Constitution de la liste des types de configurations.

Chaque configuration de cette liste utilisera la sélection selon les modes ci-dessous :

1) Un seul photomultiplicateur touché. La zone E et la zone X vues par le scintillateur sont décomposées en deux zones $Z_{\emptyset}E$, Z_1E, $Z_{\emptyset}X$, Z_1X.

2) Deux photomultiplicateurs non consécutifs : R_i, R_j, $(i, j) \in (0,7)$; $i < j - 1$;
$Z_{\emptyset}{}^{E}$ et $Z_{\emptyset}{}^{X}$ correspondent à R_i ; Z_1E et Z_1X correspondent à R_j.

3) Deux photomultiplicateurs consécutifs ($j = i+1$). Selon la qualité de l'échantillonnage des configurations photomultiplicateurs (résolution de la coïncidence entre la configuration ($R_{\emptyset}$, ... R_7) et le marqueur temps lié au spectromètre, on peut considérer : a) que c'est un seul événement en frontière des deux scintillateurs ; ou b) qu'il y a un multiple dont l'un pourrait être en frontière.

En conséquence, si la première hypothèse est retenue, les zones $Z_{\emptyset}$ et Z_1 sur E et X pourront être découpées dans l'intersection des zones vues par R_i et R_j (zone hachurée de la figure IV.2.3 a). Si la deuxième hypothèse est retenue, le "OU" des zones vues par R_i et R_j constitue $Z_{\emptyset}$ et Z_1.

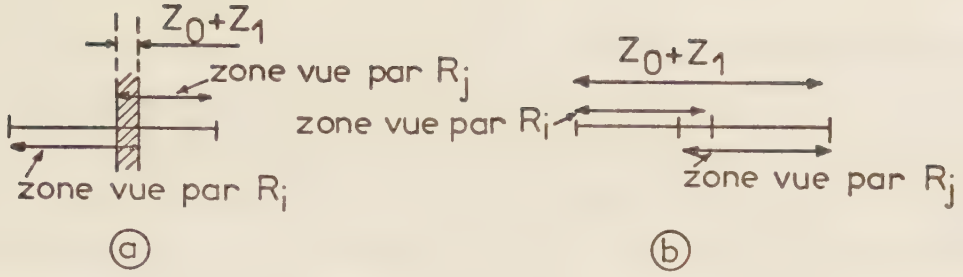


Fig. IV.2.3. Cas de deux photomultiplicateurs consécutifs

4) Les autres configurations de multiplicité 2

2 PM consécutifs + 1 non consécutif $(R_i, R_{i+1} ; R_j)$ $j > i+1$
$(R_j, R_i ; R_{i+1})$ $j < i-1$

4 PM consécutifs $(R_i, \quad , R_i + 3)$

2 PM consécutifs 2 fois $(R_i, R_{i+1} ; R_j, R_{j+1})$ avec $R_{i+1} < R_{j-1}$

seront traitées comme un mélange des solutions 2 et 3.

5) Toutes les autres configurations se verront appliquées le traitement standard

$Z_\emptyset E$ première moitié de la chambre E
$Z_1 E$ seconde moitié de la chambre E
$Z_\emptyset X$ première moitié de la chambre X
$Z_1 X$ seconde moitié de la chambre X

6) Conclusion du paragraphe IV.2.4.1. section a.

Pour une résolution de coïncidence de 20 ns = 2τ, plus de 95% des événements présenteront des configurations monophotomultiplicateur (R_i). Ces événements pourront être acquis avec une capacité d'information de 4 couples E,X pour une zone vue par le scintillateur correspondant à R_i. Ceci apporte d'excellentes conditions de réjection du bruit de fond particules et de levée des ambiguïtés.

Pour les 5% d'événements présentant des multiplicités d'ordre 2 et supérieures, les multiplicités d'ordre 2 seront traitées selon le souhait des utilisateurs à partir des règles proposées aux points 2, 3, 4 de la présente section ; la multiplicité d'informations sur les zones chambres pourra cependant être levée dans de nombreux cas, compte tenu de la définition de l'événement par deux couples (E,X) pour chaque zone.

Les multiplicités d'ordre >2 et la configuration vide interviennent de manière négligeable, le traitement standard, développé dans le dernier point, permettra cependant d'en récupérer une partie.

b) Liste des configurations.

		nombre	traitement point
configuration vide	Ø PM	1	5
configurations	1 PM	8	1
configurations	2 PM $(R_i, R_j$; $i<j-1)$	21	2
	2 PM (R_i, R_{i+1})	7	3a ou 3b
	3 PM $(R_i, R_{i+1}, R_j; j>i+2)$	30	2 et (3a ou 3b)
	3 PM (R_i, R_{i+1}, R_{i+2})	6	2 et (3a ou 3b)
	4 PM $(R_i, R_{i+1}, R_j, R_{j+1})$; $j>i+2$	10	2 et (3a ou 3b)
	4 PM $(R_i, R_{i+1}, R_{i+2}, R_{i+3})$	5	2 et (3a ou 3b)
	autres configurations	256-88	5

Limitation de la liste des configurations.

Pour des raisons d'ordre technologique liées à la constitution de la table de sélection, il est apparu souhaitable de limiter à 64 le nombre de configurations admises; cette réduction est obtenue en assimilant les configurations $(R_i, R_{i+1}, R_j\ j > i+2)$ à (R_i, R_j), ce qui ramène le nombre total à 58. Cette limitation influe très peu sur les pertes de comptage et les multiples chambres.

c) Schéma de principe de la fonction de sélection.

La description fonctionnelle et électronique sera reprise au chapitre IV et au chapitre VI ; cependant, il est possible d'en définir ici le principe général.

Remarque 1 : Il a été mentionné précédemment que la fonction doit être programmable ; en effet, il faut contrôler que ce qui est inscrit dans la table correspond à la réalité. Pour cela, il faut réaliser une expérience à faible taux de comptage et sans sélection externe à partir de la configuration, la sélection s'effectuant alors par programme. Ce mode de fonctionnement, dit spécial, consiste à appliquer le traitement 5. Le résultat de ce test expérimental permet alors de comparer la réalité aux calculs et de compléter la table des zones. Une commande normale/spéciale autorise l'un ou l'autre des modes de fonctionnement.

Remarque 2 : L'opération ci-dessus est à réaliser chaque fois que l'on change l'implantation des scintillateurs associés aux photomultiplicateurs R_i. Ceci impose que la table soit remplaçable ou reprogrammable ; la figure IV.2.4 schématise, indépendamment de la logique de codage, le fonctionnement de la sélection à partir des configurations.

IV.2.4.2. Description de la fonction 1/n. Cette fonction a été introduite au chapitre III.2.

But : Réduire le nombre des événements simples à 1 parmi n dans le cas des expériences (e,e'p), les simples n'étant utilisés que pour la mesure d'efficacité et le contrôle du déroulement de l'expérience.

Avantages : Réduction du volume de l'information à transmettre à l'ordinateur et réduction de l'occupation en temps de l'ordinateur. Elle permet également un certain nombre d'applications précédemment décrites au chapitre III.2. Ces applications sont orientées vers le contrôle des performances de l'appareillage ou l'absorption d'une dynamique de comptage.

Limitations : Les valeurs possibles de n sont en nombre restreint pour éviter une trop grande complexité.

Description : Les valeurs de n pourront prendre les valeurs (1, 2, 4, 8, 16, ∞). La "division" ne s'applique qu'aux événements simples. Tout événement marqué coïncidence (e,e'p) échappe au contrôle de cette fonction et sera transmis à l'ordinateur. Les événements transmis correspondent à : coïncidence + 1/n(simples + coïncidences). La fonction délivre un bit S de marquage à tout événement transmis vers l'ordinateur. Ceci a pour but : i) de contrôler le bon fonctionnement de la sélection 1 parmi n ; ii) d'aiguiller également les coïncidences qui ont le marquage S vers les buffers simples correspondants (ex. la partie électron d'une coïncidence sera traitée également en tant que simple électron, uniquement si elle est marquée S).

Remarque : La "division" par ∞ indique que seules les coïncidences sont transmises et que les simples les constituant ne sont pas pris en compte.

Principe de réalisation.

Les événements sont comptés dans une échelle de capacité 16 maximum. En fonction du contenu courant de l'échelle et du facteur de "division" sélectionné, l'état du marqueur S est préparé pour l'événe-

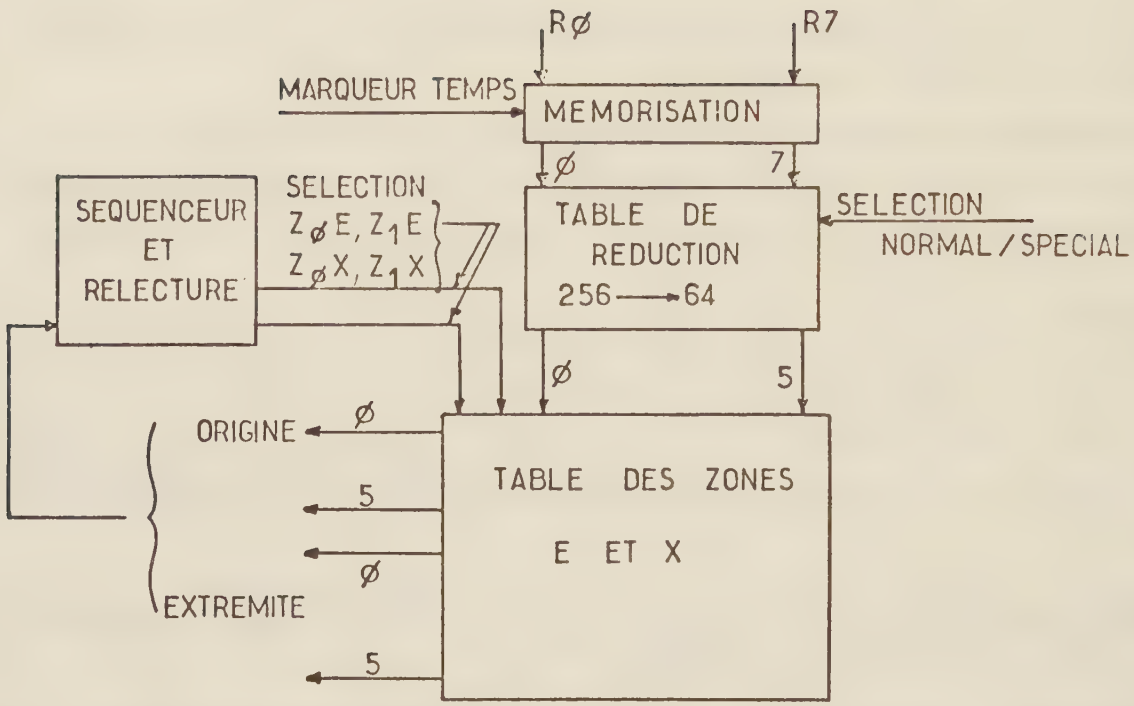


Fig. IV.2.4. Schéma de principe de la fonction sélection de zones.

ment suivant. Le marqueur S est associé à l'événement correspondant et mémorisé sur le marqueur temps de l'événement.

A la relecture de la mémoire tampon : le séquenceur de la logique de scrutation teste les marqueurs S et C et décide de la transmissibilité de l'événement (S+C = 1 Booléen) ; si l'événement n'est pas transmissible, il est rejeté.

Au niveau de la logique de l'interface :

. Si les marqueurs S et C sont égaux à 1, les simples constituant la coïncidence sont intégrés dans leurs buffers respectifs. Si S=0 C=1, le simple correspondant est rejeté.

. Tout simple transmis est considéré valable, le marqueur S n'étant pas contrôlé.

Au niveau programme : le bilan complet simple + coïncidence est comparé au nombre d'événements intégrés hors division dans une échelle externe. La figure IV.2.5. donne une première indication de la structure.

IV.2.4.3. Fonction de regroupement des constituants de la coïncidence. Ce n'est pas une fonction programmable ; elle est automatiquement sélectionnée par le fonctionnement avec deux spectromètres.

Rappel : Chaque spectromètre ayant un fonctionnement autonome, les événements en coïncidence sont étiquetés d'un marquage spécial C ou CCd (dans le cas de plusieurs coïncidences dans la même impulsion accélérateur, la première est marquée C, les suivantes CCd).

But : Eviter, au niveau du programme exécuté dans l'ordinateur d'acquisition, le travail de recomposition de l'électron, du proton et de la mesure du temps les séparant.

Méthode utilisée.

La logique d'émission située auprès du détecteur dans la casemate du spectromètre émet un signal d'accompagnement pour tout événement marqué coïncidence. L'information correspondante est stockée dans une zone mémoire spécialisée de l'interface. Lorsque les transmissions de tous les événements acquis pendant l'impulsion accélérateur et autorisés par la fonction 1/n sont terminées pour l'un et l'autre des spectromètres (réception par l'interface de signaux de fin de transmission),

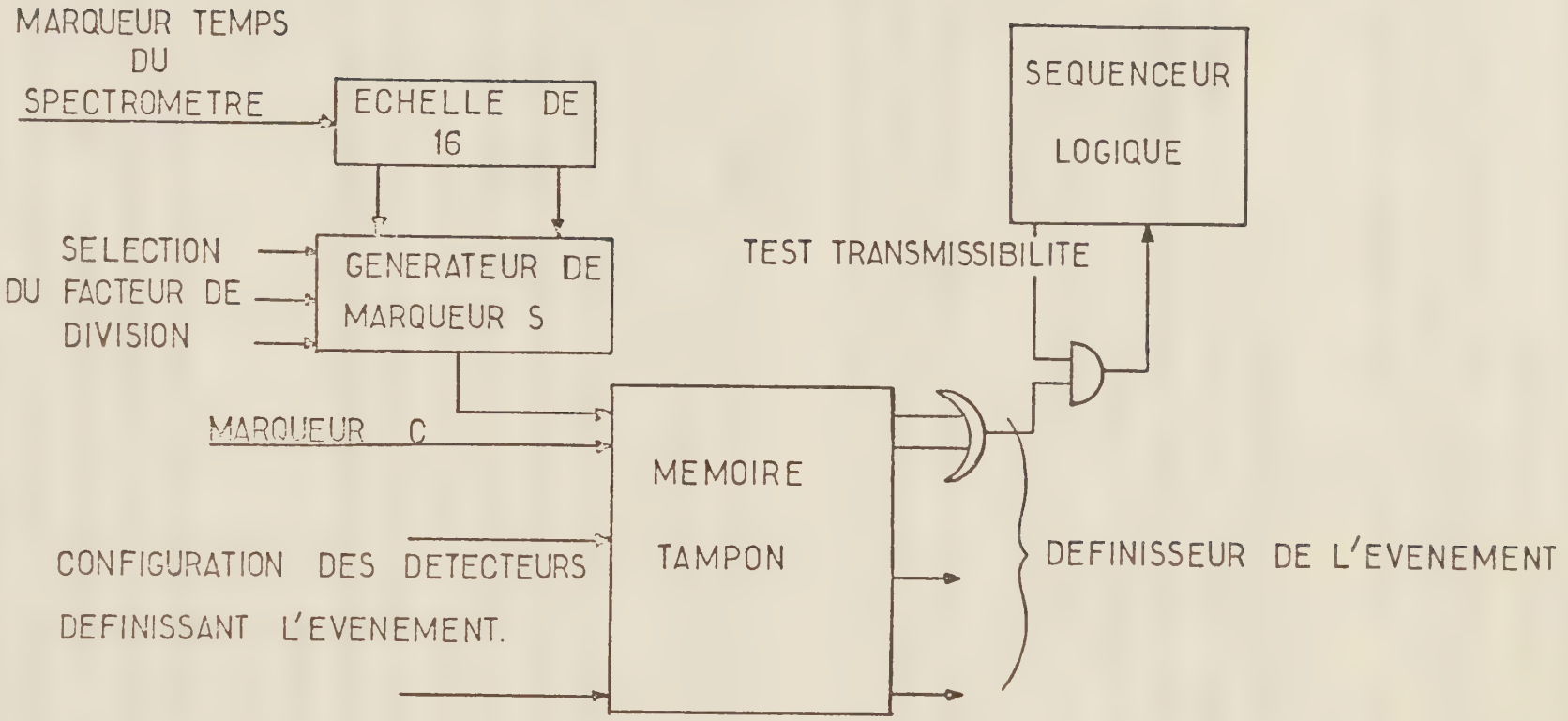


Fig. IV.2.5. Schéma de principe de la fonction 1/n.

l'électron, le proton et la mesure de temps associée sont stockés dans la mémoire spécialisée. Il reste à les transférer vers la zone buffer correspondante en mémoire ordinateur (réf. ch. III). Si l'un des constituants électron ou proton est absent, une configuration fixe le remplace. Si, seule une mesure temps a été effectuée et ne peut en conséquence être associée à un électron ou un proton, l'information est rejetée.

IV.2.4.4. Fonction de masquage de groupes.

But : Cette fonction conditionne l'acquisition de groupes de huit canaux consécutifs sur l'une quelconque des chambres. Elle peut être utilisée pour masquer sur une chambre des zones inintéressantes ou perturbées.

Réalisation : Pour chaque spectromètre, la logique de scrutation comprend une table dans laquelle est inscrit l'état inhibé ou autorisé de l'un quelconque des groupes. Si le groupe est inhibé, il apparaîtra comme vide de toute information. La dimension de la table est donnée ci-dessous :

	"900"	"600"
E	64 bits	64 bits
X	20 bits	24 bits
total	84 bits	88 bits

La programmabilité de cette fonction réside dans la possibilité de modifier la liste des groupes inhibés. Cette opération est effectuée sous le contrôle de l'ordinateur.

IV.2.4.5. Sélection de spectromètre. Cette fonction est en fait un commutateur qui permet de connecter à l'ordinateur l'une des configurations suivantes :

- ordinateur hors acquisition ;
- acquisition uniquement sur la voie "600" ;
- acquisition uniquement sur la voie "900" ;
- acquisition simultanée sur le "900" et "600",expériences de coïncidence ;

Bien qu'elles ne répondent pas à la définition d'une fonction externe, ces commandes sont exécutées sous contrôle de l'ordinateur. Ces comman-

des peuvent cependant autoriser la réalisation d'expériences dans lesquelles une expérience principale utilisant un seul des spectromètres constitue la tâche de fond de l'ordinateur. Les données issues du second spectromètre seront autorisées à l'acquisition pour une faible partie du temps, permettant ainsi le réglage de l'autre voie de détection et d'acquisition. Un tel mode opératoire apporte de grands avantages en ce qui concerne la préparation des expériences.

IV.2.4.6. Conclusions relatives aux fonctions externes. Les fonctions décrites aux paragraphes IV.2.4 présentent toutes le caractère de programmabilité à partir de l'ordinateur. La programmation des fonctions doit être réalisée à des instants où elle ne puisse perturber l'acquisition. Ceci est rendu possible en synchronisant cette programmation sur les impulsions accélérateurs. Pour cela, et afin d'éviter une difficile synchronisation de l'ordinateur, ce dernier transfère toutes les informations relevant des fonctions décrites ci-dessus dans une zone mémoire située dans l'interface ; cette mémoire est appelée (R.M.M.). La mémoire (R.M.M.) est relue en synchronisme avec les impulsions faisceau assurant un rafraîchissement permanent des commandes ou tables propres aux fonctions externes.

IV.2.5. Choix du mode d'entrée des données dans l'ordinateur.

Il a été noté au paragraphe III.2.4. que les données relatives à un spectromètre étaient stockées dans des buffers mémoires et qu'il existe deux buffers pour les électrons, deux buffers pour les protons et deux pour les coïncidences. Cette utilisation de deux buffers permet le remplissage de l'un pendant que l'autre est traité par le programme. Il est évident, compte tenu des problèmes de vitesse d'acquisition, que le mode d'entrée doit être le plus rapide possible.

Des trois modes disponibles : accès direct à la mémoire (1 cycle DMA), accès direct à la mémoire (3 cycles DMA), entrée programmée API, la description du fonctionnement de ces trois modes apparaît dans [22] ; seul le premier, avec une vitesse de 1,4 µs par mot ordinateur, est utilisable.

IV.2.5.1. Synchronisation de l'acquisition avec le programme : défauts de synchronisation. Il faut tenir à jour un index pointeur du niveau adresse mémoire atteint dans le buffer en cours de remplissage.

Il existe donc trois index, un pour chacun des types de buffers envisagés, les deux buffers afférents au même type d'information étant, pour plus de simplicité, contigus en mémoire. Le fonctionnement de ces trois index étant identique (la taille de l'index relatif aux coïncidences est double de ceux des simples), la description est valable pour tous.

IV.2.5.2. Description du fonctionnement d'un index. Lorsque les informations issues des détecteurs ont été transférées après chaque impulsion faisceau, puis mémorisées dans l'interface, une requête est effectuée auprès du calculateur pour un accès direct en mémoire. Après un délai nécessaire à la synchronisation, le calculateur prend en compte, mot après mot, les informations. Après l'acquisition en mémoire d'un mot, une impulsion est délivrée par l'ordinateur pour signaler l'achèvement de l'opération. Cette impulsion est utilisée pour faire progresser l'index. Les index sont remis à zéro par une commande émise par l'ordinateur en début d'expérience ou de séquence d'expérience.

IV.2.5.3. Contrôles de l'acquisition. Supposons un format d'événements de 8 mots PDP 15. Chaque buffer contient alors 128 événements (tableau III.2.5). En raison de son format constant, chaque événement occupe une place constante en mémoire ordinateur ; chaque buffer est évidemment un multiple de ce format (128 x format) pour chaque buffer d'événements simples, le double pour les coïncidences (128 x 2f). Lorsque un index atteint un décompte correspondant à 128 événements, une requête est envoyée au programme pour indiquer que le buffer en cours d'acquisition est maintenant rempli. Le programme doit alors effectuer les contrôles suivants :

. reconnaître l'index et le buffer qui vient d'être rempli ;

. si le buffer précédent n'est pas encore traité , l'acquisition rattrape le traitement ; il faut alors arrêter l'expérience et signaler ce fait à l'opérateur.

. si le buffer indiqué par l'index est le même que celui qui vient d'être traité, il y a erreur de synchronisation ; il faut arrêter l'expérience, avertir l'opérateur ou annuler le buffer complet.

. si la lecture de l'index indique un nombre qui n'est pas un multiple du format, l'acquisition s'est désynchronisée ; il faut arrêter l'expérience, avertir l'opérateur ou annuler le buffer complet.

IV.2.6 Conclusions sur le paragraphe IV.2.4.2.

Le chapitre III et le paragraphe IV.1 ont permis de définir ce qui était nécessaire pour obtenir une information de qualité suffisante. Le paragraphe IV.2 a permis :

1) de recenser cette information ;

2) de montrer la nécessité d'utiliser un format constant ;

3) de définir une politique temporaire de partage du traitement entre l'ordinateur et des fonctions externes ;

4) de décrire des fonctions externes utilisées ;

5) de choisir le mode d'entrée dans le calculateur ;

6) de définir le contrôle du chargement des données dans l'ordinateur.

Il est possible de définir et schématiser une partie des moyens de commande et de contre-réaction dont l'opérateur et/ou le programme disposent pour gérer l'expérience.

L'ordinateur peut informer l'opérateur du déroulement de l'expérience ou l'opérateur peut requérir cette information en demandant un "état" de l'expérience. L'interaction entre l'opérateur et l'ordinateur s'effectue par l'intermédiaire d'une imprimante, d'une télétype, d'un organe de visualisation, de préférence à mémoire, et, dans l'autre sens, d'un clavier.

L'opérateur peut être informé du mauvais fonctionnement éventuel de la synchronisation ordinateur/acquisition. C'est une partie d'un ensemble d'autodiagnostic. Il peut réagir sur le système d'acquisition de données par l'intermédiaire des fonctions externes, soit en informant le programme des modifications nécessaires soit que le programme puisse en prendre l'initiative. Il peut également réagir sur les conditions expérimentales. A ce stade de définition de l'ensemble d'acquisition de données, des éléments importants du contrôle de l'expérience sont dessinés tant du point de vue diagnostic des défauts que possibilités de contre-réactions sur l'expérience. Il reste à définir d'abord la logique de codage pour achever la définition complète d'un événement, puis le transfert de cette information des spectromètres à l'interface, ensuite à l'ordinateur, enfin d'y implanter des moyens de surveillance pour pouvoir aborder au chapitre V les problèmes spécifiques de traitement de l'information.

IV.3. LA PRISE D'INFORMATIONS SUR LES CHAMBRES.

Les seules méthodes envisagées correspondent à la prise d'informations pour chaque fil par sélection des amplitudes dépassant un certain niveau et émission d'un signal standard.

IV.3.1. Description des différentes méthodes de codage "fil à fil".

Remarque 1 : La méthode utilisée doit être compatible avec le format choisi qui autorise l'enregistrement de deux traces au maximum pour chaque zone chambre scrutée. Toutes les zones ont un traitement identique.

Remarque 2 : L'information liée au passage d'une particule dans une chambre consiste en une information spatiale (origine et extension du paquet) et une information temps : l'instant d'apparition des informations pour les différents fils du paquet par rapport à une définition "précise" de l'instant de passage de la particule. Cette information temporelle peut déterminer le plus central des fils dans le paquet.

Remarque 3 : L'information disponible sur les chambres doit être en coïncidence avec l'information issue des plans R et Y (information temps liée à la particule). Il existe deux possibilités pour réaliser cette coïncidence :

1) échantillonner et enregistrer dans la mémoire tampon l'information des chambres à l'aide du marqueur temps défini par la coïncidence des plans R et Y.

2) découper la durée de l'impulsion accélérateur en intervalles de temps compatibles avec la précision souhaitée. Enregistrer, pour chaque intervalle de temps, l'état des différents détecteurs. A la relecture, toute information présente sur les détecteurs dans le même intervalle sera considérée comme valable.

Remarque 4 : Il serait souhaitable de réaliser la sélection des zones à partir de ($R_\emptyset$ ... R_7) avant la mémorisation afin de réaliser une économie en capacité mémoire tampon. En fait, l'aiguillage d'une zone de dimension variable et de position variable vers la mémoire se heurte à d'importantes difficultés et se révèle pénalisante sur le plan de la résolution en temps.

IV.3.1.1. Systèmes à découpage en temps. Ils permettent un enregistrement complet, par tranche de quelques dizaines de nanosecondes (inférieure au jitter d'un fil), de l'état des différents canaux de détection. Sur la base d'analyse par 40 ns, il faudrait 250 cellules par canal.

L'information résultante est très complète. Le système est relativement indépendant des taux de comptage. Le taux de multiples peut être sensiblement diminué. Une information sur la distribution d'information à l'intérieur de l'impulsion faisceau est récupérable.

L'enregistrement en mémoire étant indépendant du marqueur temps, les criticités liées à l'échantillonnage sont supprimées. La figure IV.3.1 schématise le procédé. Le système est techniquement et technologiquement réalisable ; cependant le coût élevé des composants mémoires le rend prohibitif.

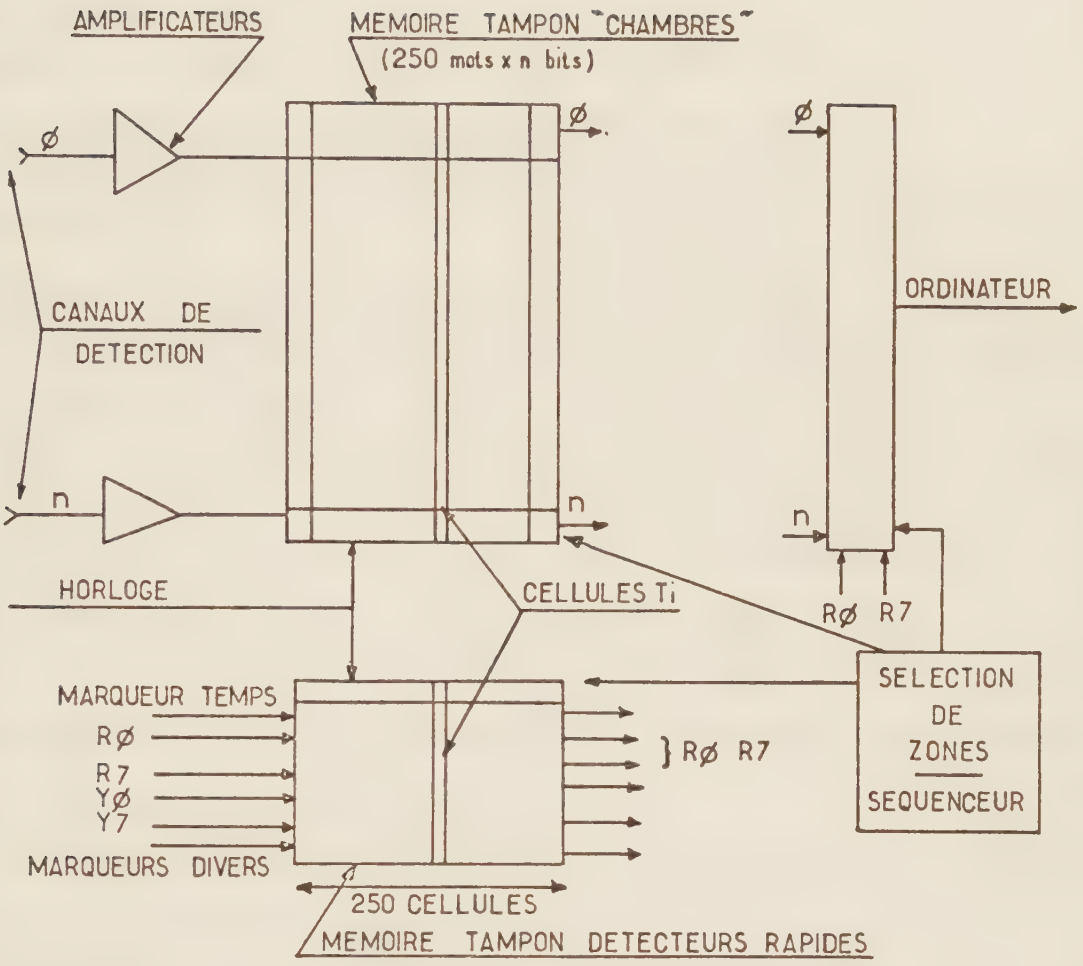
IV.3.1.2. Systèmes à échantillonnage par le marqueur temps. Les informations sont enregistrées au fur et à mesure de leur arrivée dans une mémoire tampon (paragraphe III.2). La capacité minimale de cette mémoire est calculée pour le taux de comptage maximal envisagé, soit quatre événements par impulsion faisceau.

Le tableau IV.3.2 compare différentes capacités mémoires (taux de comptage moyen envisagé m = 4).

Tableau IV.3.2

n	1	2	4	6	8	10
Probabilité de dépassement de capacité	0,98169	0,90843	0,56654	0,21488	0,05114	0,00814
Pertes	0,75458	0,52748	0,19537	0,04885	0,00840	0,00102
n capacité en nombre d'événements de la mémoire tampon						

Ces valeurs sont calculées à partir d'une loi de Poisson. Les pertes sont données par :



une cellule Ti reflète l'état des détecteurs à l'instant Ti de l'impulsion faisceau.

1) Sélection du marqueur temps et de la configuration $R_{\emptyset}$ R_7 associée

2) Au rang mémoire correspond : recherche et codage de l'information chambre

3) Transmission à l'ordinateur

Fig. IV.3.1. Systèmes à découpage en temps.

$$p = \frac{\text{Nbre d'événements non comptés}}{\text{Nbre moyen d'événements}} = \sum_{n}^{\infty} P(x) - \frac{n}{4} \sum_{n+1}^{\infty} P(x)$$

en effet

$$p = \sum_{n+1}^{\infty} \frac{(x-n)P(x)}{4} = \sum_{n}^{\infty} P(x) - \frac{n}{4} \sum_{n+1}^{\infty} P(x)$$

Pour une capacité de 10 événements, les pertes sont de l'ordre de 10^{-3}. Une telle capacité serait suffisante. Cependant la technologie la plus adaptée offre des capacités de 8 ou 16 événements. C'est donc une capacité de 16 événements qui doit être retenue. Les pertes sont alors insignifiantes.

1) Systèmes de codage à mémorisation de l'information brute :

L'information n'est pas réduite avant mémorisation. Ces systèmes ont en général été utilisés pour de faibles taux de comptages. Ils utilisent en conséquence une capacité mémoire réduite. Leur adaptation au problème HE1 nécessite une capacité de 16 mots x N canaux soit :

900	16 x 672 bits
600	16 x 704 bits

Les références [21, 23, 24, 25, 26] décrivent un certain nombre de ces systèmes.

2) Systèmes à précodage :

Ils ont pour objectif de réduire la capacité mémoire requise ou la taille de l'information. Ceci peut être réalisé par l'introduction d'éléments logiques de codage avant la mémoire tampon. La validité d'une telle opération n'est acquise qu'à un instant donné, compte tenu de l'abaissement du coût des éléments mémoires intégrés.

a) Système utilisant la sélection en temps à l'intérieur d'un paquet.

Cette méthode a été prospectée au MIT [27]. Le fil sur lequel apparaît la première information est probablement le plus central du paquet. Cette première information sert à inhiber toute apparition d'information sur les voies adjacentes.

Avantages : L'information se ramène à un numéro de voie, elle peut être intégrée par des composants électroniques peu coûteux (compteurs, registres à décalage).

Limitations : L'information contenue dans la taille du paquet est perdue. Le système n'est plus modulaire, les voies n'étant plus indépendantes les unes par rapport aux autres. Enfin cette technique impose un contrôle très serré du fonctionnement de la chambre et des temps de propagation dans l'électronique.

b) Systèmes à codage bidirectionnel hiérarchisé.

Cette méthode a été utilisée depuis 1970 à l'accélérateur linéaire de Saclay AL 300 auprès des expériences (e,e') et (e,e'p).

. Principe du codage bidirectionnel hiérarchisé.

Soit un détecteur pouvant présenter les configurations de la figure IV.3.3.

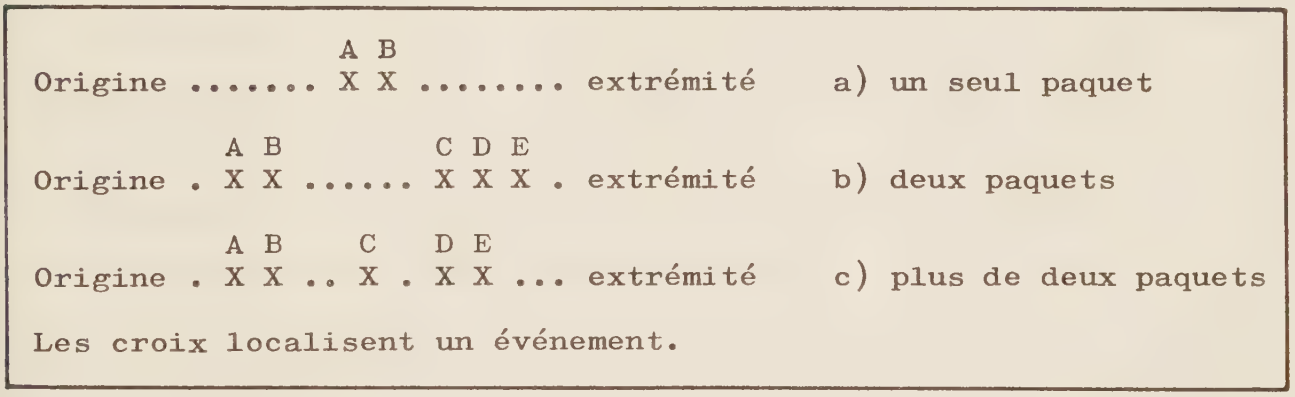


Fig. IV.3.3

Un système de codage hiérarchisé délivrera :

l'adresse A et l'adresse B pour la configuration a)
l'adresse A et l'adresse E pour la configuration b)
l'adresse A et l'adresse E pour la configuration c)

il fournit donc l'adresse du premier et du dernier canal rencontré lorsque l'on examine la zone comprise entre l'origine et l'extrémité. On peut également interpréter cette information comme :

. la première adresse rencontrée à partir de l'origine,
. la première adresse rencontrée à partir de l'extrémité.

• Adéquation de ce principe au problème posé.

Il a été vu (tableau IV.1.7) que 95% des événements dans une zone sélectionnée par la configuration ($R_\emptyset$ ... R_7) seraient des événements simples du type IV.3.3.1; donc il reste 5% d'événements pour lesquels le principe bidirectionnel hiérarchisé entraîne des pertes :

. ce sont des pertes de résolution pour les événements correspondants à la figure IV.3.3 b,

. ce sont des pertes de résolution et de comptage pour les cas de type IV.3.3 c.

•• Examen des pertes de comptage.

Elles interviennent lorsqu'on a au moins trois informations dans 160 ns et dans la zone examinée. Les taux correspondants sont < 1%. Par ailleurs, les pertes n'existent que si un bon événement se trouve en position centrale, soit dans un tiers des cas. Il est donc possible d'affirmer que les pertes de comptage liées à l'utilisation de cette méthode sont extrêmement faibles.

•• Examen des pertes de résolution.

Cette perte a lieu en présence de multiples sur la zone chambre, en considérant les configurations de la figure IV.3.4 qui représentent la distribution des tailles de paquets. Un deuxième paquet a été dessiné pour éclairer le fonctionnement dans le cas de multiples.

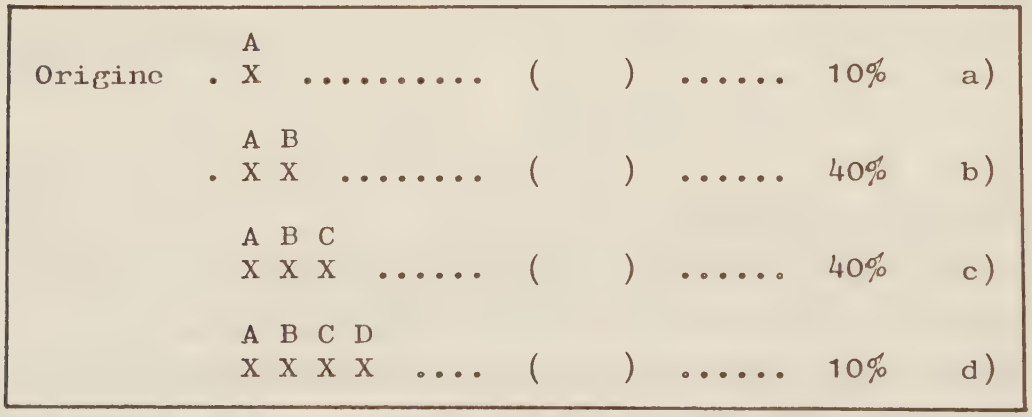


Fig. IV.3.4

On peut constater que la prise en compte de l'événement le plus à gauche est obtenue en incrémentant l'adresse A d'une unité. La détérioration de résolution est de :

1/2 canal dans 50% des cas (b) + (d) soit 2,5% des événements incidents
1 canal dans 10% des cas a), soit 0,5% des événements incidents
nulle dans 40% des cas c), soit 97% des événements incidents.

Ces taux ont été évalués pour une zone typique résultant de la partition du plan R. Cette évaluation s'applique au cas où une configuration multiphotomultiplicateur existe. En effet, il a été précisé, dans le paragraphe IV.2, que, si un seul photomultiplicateur a été touché, la zone correspondante est divisée en 2. En conclusion :

- Pour 95% des configurations ($R_\emptyset$ ... R_7)
  la dégradation de résolution à $\pm$ 1/2 canal est de 1,25%
  la dégradation de résolution à 1 canal est de 0,25%
- Pour 5% des configurations ($R_\emptyset$ ... R_7)
  la dégradation de résolution à $\pm$ 1/2 canal est de 2,5%
  la dégradation de résolution à 1 canal est de 0,5%

Soit au total :

- événements ayant subi une perte de résolution de 1 canal 0,27%
- événements ayant subi une perte de résolution de $\pm$ 1/2 canal 1,37%
- événements non dégradés 98,36%

Ce taux peut être diminué au niveau de l'implantation pratique.

. Création de canaux intermédiaires.

Soit A l'adresse d'un paquet et Δ l'extension du paquet. Le centre du paquet a pour adresse $A + \Delta/2$, Δ étant un nombre entier pair ou impair. Si Δ est pair, le centre correspond à un fil. Si Δ est impair, le centre correspond à une zone comprise entre deux fils. Il est donc possible de créer des canaux intermédiaires dont le nombre est égal au nombre de canaux de la chambre. La résolution du système est donc sensiblement multipliée par 2. L'adresse d'un canal est alors donnée par :

$$A_c = 2A + \Delta .$$

Cette résolution se situe au seul niveau de la manipulation de l'information et ne tient pas compte de la chambre. Cette double précision est réelle car elle traduit le calcul d'un centre du paquet ; elle n'est pas spécifique du codage bidirectionnel hiérarchisé, mais de la conservation de l'intégralité de l'information. La largeur des canaux intermédiaires est liée à l'inclinaison des trajectoires et au point de fonctionnement de la chambre.

Cas des multiples chambres : Il y a, dans ce cas, perte de résolution. Cette perte, évaluée sur un exemple, peut être minimisée au niveau programme. En effet, le calcul de Δ permet de tracer, pour chaque chambre, la distribution des fils consécutifs touchés. Ces histogrammes font apparaître une valeur moyenne de la distribution et une valeur la plus probable Δp ainsi qu'une valeur maximale. En considérant ces trois valeurs, il est possible :

. d'interpréter le paquet comme 1 ou 2 événements selon que

$$\Delta \leq \Delta \text{ MAX.} \quad \text{ou} \quad \Delta > \Delta \text{ MAX}$$

. de corriger la valeur origine :

en simple précision en $A_c = A + \frac{\overline{\Delta}}{2}$ ou $A + \frac{\Delta}{2} p$

en double précision en $A_c = 2A + \overline{\Delta}$ ou $2A + \Delta p$

Le cas traité dans le paragraphe "Examen des pertes de résolution" correspondait à un $\Delta = 2$ assez représentatif de la distribution de la chambre E"900".

. Réduction du volume de l'information avant mémorisation.

Elle dépend de la structure envisagée.

L'ensemble de détection utilisé pour les expériences (e,e'p) en salle HE3 de l'accélérateur linéaire de Saclay codait sur 64 canaux. L'information issue de 64 voies était donc réduite de 64 bits à 12 bits [13].

L'ensemble à 64 canaux ayant permis les premières expériences (e,e') en salle HE1 codait par groupe de 8 voies. La capacité mémoire était réduite de 25% [8].

IV.3.2. Choix d'une structure de codage.

L'incidence, de 40° environ, des trajectoires sur les plans de détection impose de rejeter les méthodes ne conservant pas l'intégralité de l'information et ne permettant pas la création de voies intermédiaires.

Le découpage en temps nécessite une très importante et onéreuse capacité mémoire et présenterait un intérêt faible compte tenu de la faiblesse des distorsions introduites par des méthodes plus classiques.

En conséquence, seules doivent être considérées les méthodes à mémorisation brute et celles basées sur un précodage bidirectionnel hiérarchisé.

IV.3.2.1. Structure utilisant une mémorisation de l'information brute.

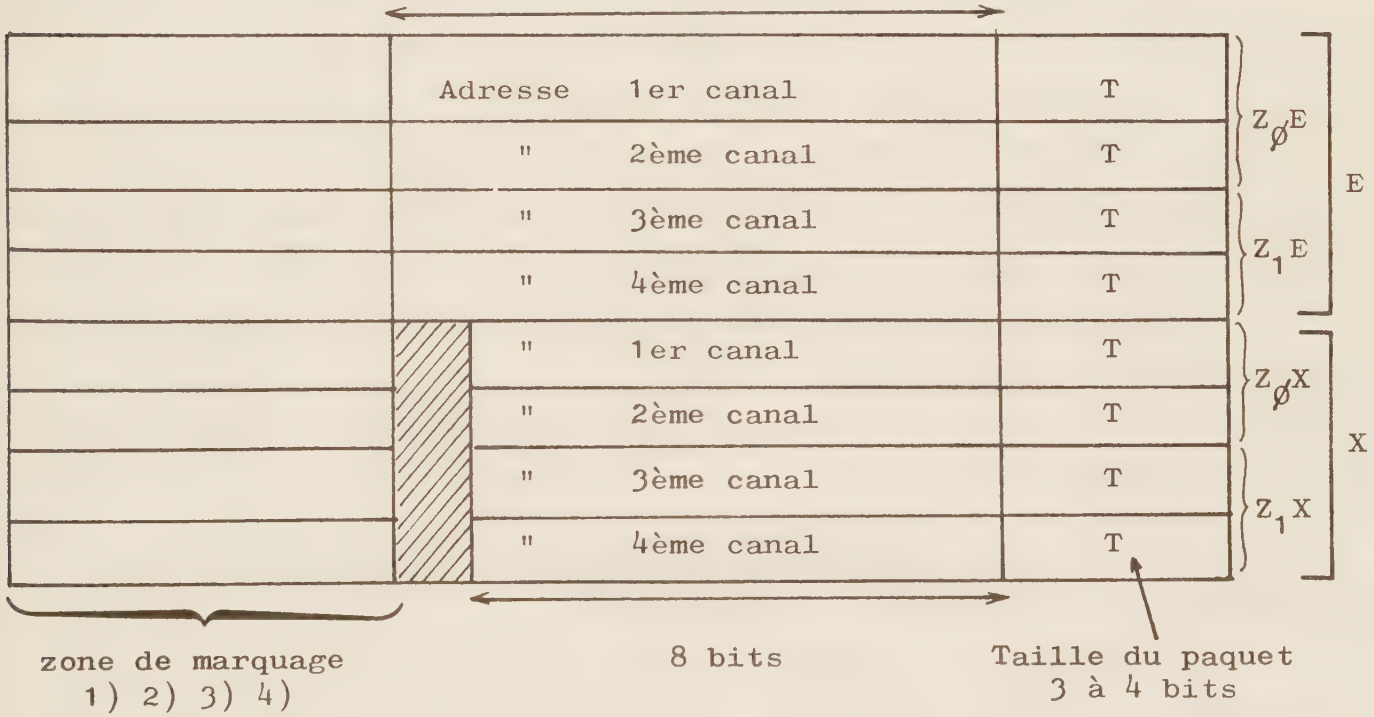
Taille de la mémoire tampon : Pour N canaux T = 16 mots de N bits.

Codage de l'information : Il prend place à la relecture après sélection des zones par ($R_\emptyset$ ... R_7). Il faut limiter l'information à 8 événements pour l'ensemble des 4 zones $Z_\emptyset E$, $Z_1 E$, $Z_\emptyset X$, $Z_1 X$.

Plusieurs processus sont possibles et sensiblement équivalents, compte tenu des taux de multiples dans une zone.

- Choix des deux premiers événements rencontrés dans une zone.
- Choix des deux derniers événements rencontrés dans une zone.
- Choix du premier et du dernier événements rencontrés dans une zone.

Cette dernière méthode étant le codage bidirectionnel hiérarchisé, un format possible sur 8 mots PDP 15 apparaît en figure IV.3.5.



1) Marqueurs divers ; 2) Mesure de temps ; 3) ($R_\emptyset$ ... R_7) ;
4) Plan Y lorsqu'il sera partitionné.

Fig. IV.3.5

Format possible pour une mémorisation brute de l'information

IV.3.2.3. Structure utilisant le codage bidirectionnel hiérarchisé.

Le codage bidirectionnel fournit, par principe, une information compatible avec la prise en compte maximale de deux événements par zone. L'utilisation d'un précodage réduit la capacité de la mémoire tampon nécessaire.

Le précodage est réalisé à l'aide de fonctions logiques intégrées. Ces fonctions codent sur une base de huit canaux consécutifs, conformément au principe utilisé. Pour une utilisation optimale de ces circuits, le codage ne doit intervenir que sur la base de multiples de groupes de huit canaux consécutifs.

La définition des zones à scruter sur les chambres n'intervenant qu'à la relecture de la mémoire tampon (paragraphe IV.3.1, remarque 4), on ne peut réaliser un codage plus complet avant mémorisation. Dans ces conditions, la solution la plus générale consiste :

. dans le précodage à l'intérieur des groupes de huit fils ;

. dans la mémorisation du contenu de chacun des groupes de chaque chambre (2 x 3 bits par groupe) ;

. dans le codage, à la relecture de la mémoire tampon, à l'intérieur de chaque zone telle qu'elle est définie par ($R_\emptyset$ ... R_7)

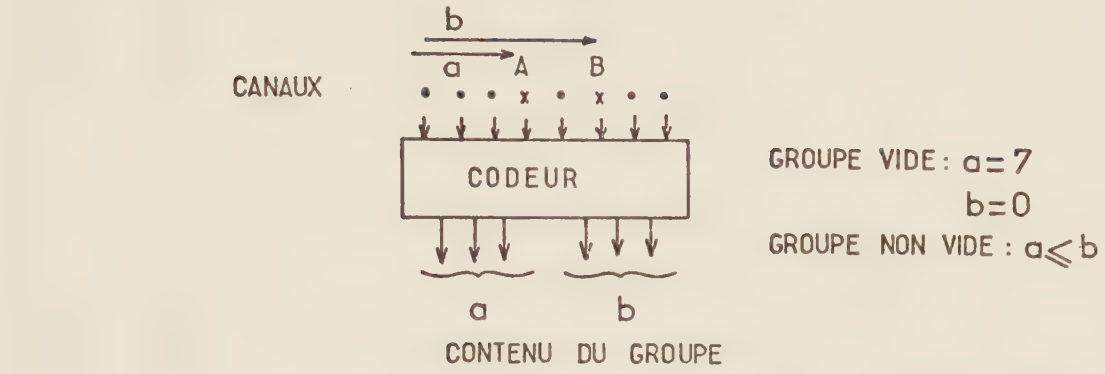
- du numéro du premier groupe non vide
- du numéro du dernier groupe non vide

et dans l'association des contenus des groupes à leur numéro. La figure IV.3.6 illustre ces différentes phases.

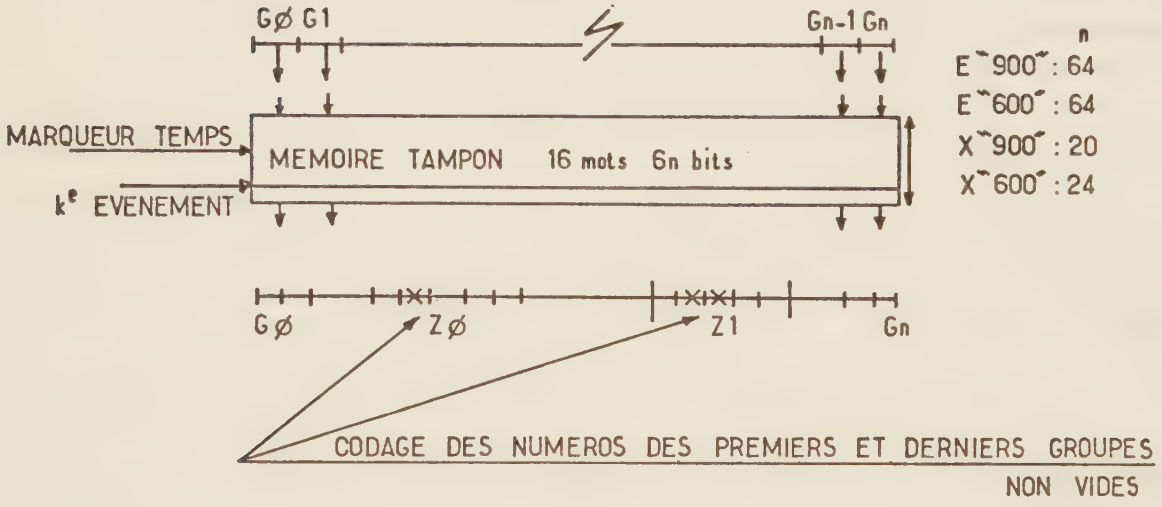
Le séquenceur relecture sélectionne la position d'un événement en mémoire puis, à partir de ($R_\emptyset$ ... R_7), les zones $Z_\emptyset$ et Z_1 de chaque chambre. Enfin, il organise la scrutation et le codage à l'intérieur des zones.

IV.3.2.3. Choix de la structure bidirectionnelle hiérarchisée : format retenu.

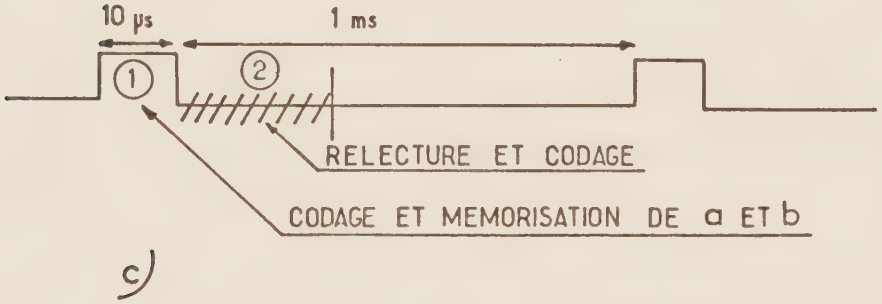
Utilisant une mémoire tampon de capacité plus faible, elle présente les avantages suivants : prix plus faible ; courants de commande plus faibles, processus de codage entièrement compatible avec la prise d'information. Le format associé est représenté en figure IV.3.7.



a) codage à l'intérieur d'un groupe: phase ①

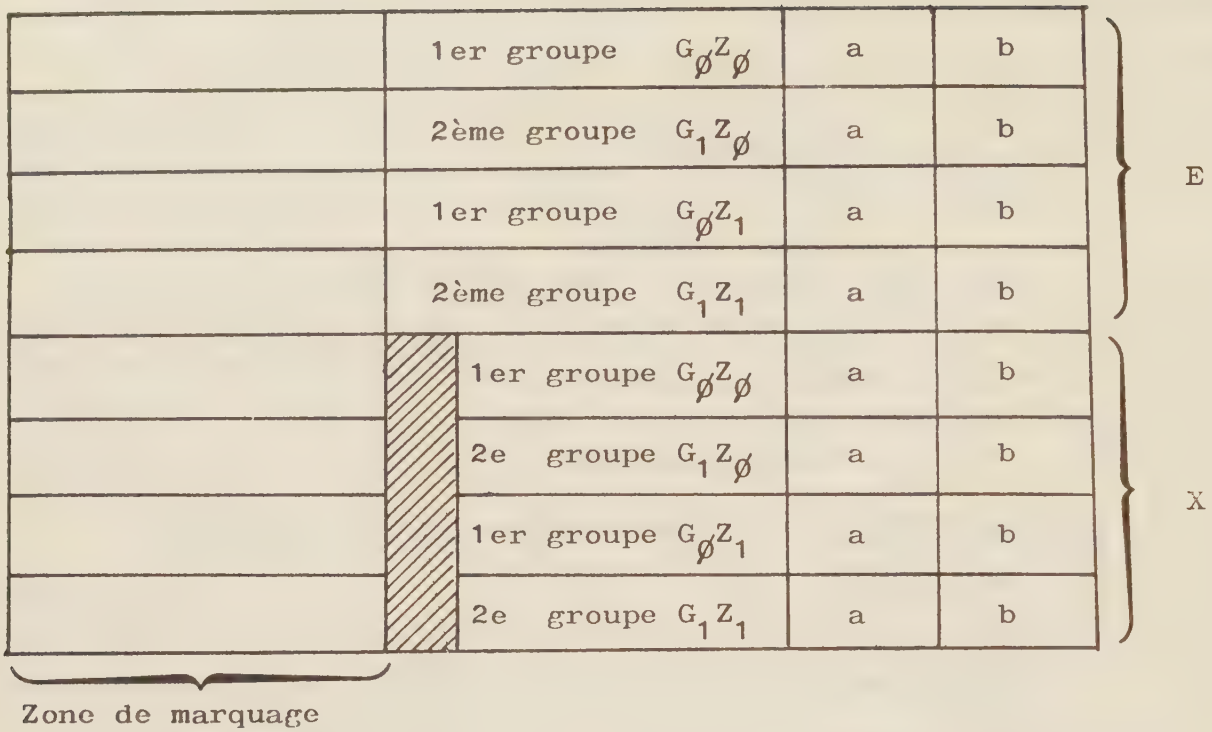


b) structure globale pour une chambre : phase ②



c)

Fig. IV.3.6. Structure de codage hiérarchisé bidirectionnel.



$(R_\emptyset \ldots R_7)$

S, C, C_D

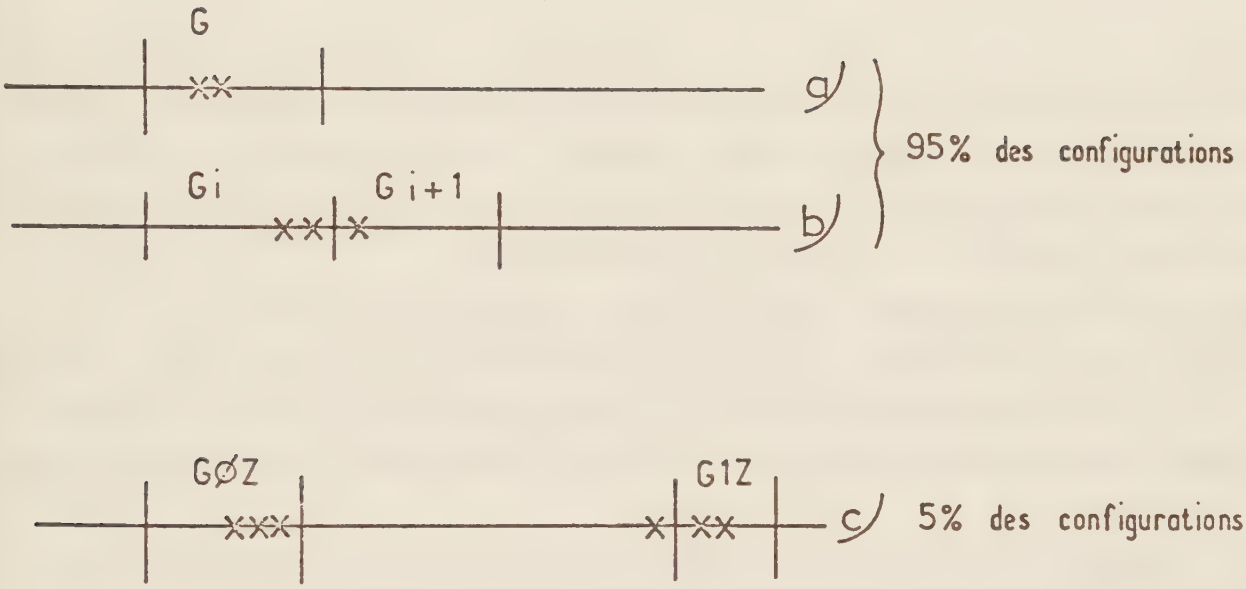
(Partition Y)

Mesure temps.

Fig. IV.3.7. Format relatif au codage bidirectionnel hiérarchisé

Remarque 1 : a est l'adresse du premier canal touché sur le groupe correspondant ; b est l'adresse du dernier canal touché sur le groupe $b \geqslant a$; l'extension maximale d'un paquet est donc de 16 canaux dans le cas d'un événement sur deux groupes consécutifs et de 8 canaux dans le cas d'événements multiples. La figure IV.3.8 illustre les configurations les plus courantes.

Dans le cas des configurations multiples : Cette structure possède donc l'avantage de ne pas dégrader systématiquement la résolution spatiale des événements et, dans le cas d'une perte de résolution, elle est sensiblement inférieure à celle qui a été évaluée ; ceci tient au fait qu'au principe décrit au paragraphe IV.3.1.2. il est ajouté la prise d'information contenue dans la valeur b et qui témoigne de l'extension du paquet (Fig. IV.3.9).



a) 1 seul paquet localisé sur un seul groupe

b) 1 seul paquet localisé sur G_0 et G_1 avec $a_1 = b_1 = b_\emptyset + 1$

c) deux paquets localisés sur $G_\emptyset$ et G_1 avec $b_1 \geqslant a_1 > b_o \geqslant a_o$

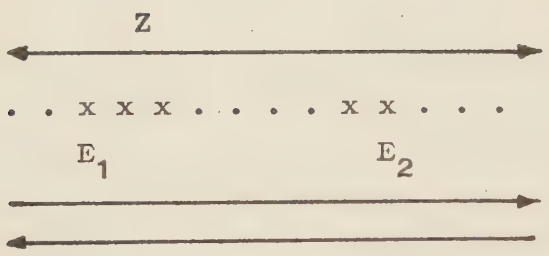
d) trois possibilités :

1) les deux événements sont intégralement conservés ;

2) un événement conservé, l'autre subit une perte de résolution ;

3) deux événements subissent une perte de résolution.

Fig. IV.3.8. Configurations les plus fréquentes.



L'événement E_1 est défini par son adresse origine et une zone maximale de 8 canaux dans le sens 1.
Pour E_2 la situation est équivalente mais le sens inverse.

Fig. IV.3.9

Remarque 2 : Le sens croissant est évidemment le même à l'intérieur des groupes que pour les numéros de groupe. Ce sens est choisi pour correspondre soit au sens croissant des énergies sur le plan focal, soit au sens inverse si l'on est intéressé à une mesure directe de l'énergie perdue par la particule lors de la réaction.

Remarque 3 : Le format et les informations permettent de réaliser un autodiagnostic. En effet, les relations $b \geqslant a$ à l'intérieur d'un groupe et $G_1 \geqslant G_0$ à l'intérieur d'une zone permettent, dans le cas d'erreur de codage systématique, de localiser avec précision la source d'erreur.

IV.4. RECAPITULATIF DES PERFORMANCES ET LIMITATIONS DE PRINCIPE DES CHOIX EFFECTUES.

La prise d'information est maintenant complètement définie : la définition de la structure de codage a permis l'implantation quasi complète du format hormis celles d'informations liées aux marqueurs et aux voies rapides qui restent à préciser. La création de voies intermédiaires apporte un bénéfice notable. Les pertes de comptage ou de résolution sont négligeables.

La conception des fonctions constitutives de l'électronique, que ce soit l'électronique de prise d'information sur les détecteurs ou celle d'interface à l'ordinateur, se situe par conséquent dans un cadre très strict.

Il reste donc à définir les techniques et technologies employées. Elles ne doivent pas dégrader les possibilités dégagées dans les chapitres précédents. Il appartient au paragraphe IV.5. du présent chapitre de mettre en évidence les conséquences de choix techniques, le chapitre VI s'attachant à des aspects plus technologiques et plus pratiques.

IV.5. STRUCTURE DE L'ENSEMBLE ELECTRONIQUE.

Trois parties très distinctes constituent l'électronique d'acquisition :

a) Electronique de prise d'information de la chambre et les détecteurs rapides. Chaque spectromètre dispose d'un tel ensemble.

b) Interface ordinateur comprenant également la fonction de regroupement des coïncidences. Cette interface est commune aux deux spectromètres.

c) Electronique de décision rapide modulaire en standard NIM. Spécifique des détecteurs rapides. Un ensemble est associé à chaque spectromètre. Le point c) ne sera pas abordé dans la mesure où le schéma de la figure IV.1.4 en a détaillé la structure.

Les ensembles de prise d'information chambres et détecteurs rapides sont tout à fait similaires. Il n'est donc pas nécessaire de les décrire individuellement, mais de mettre en évidence leur structure. Ces ensembles sont localisés dans des casemates associées aux détecteurs.

IV.5.1. Décomposition fonctionnelle de la prise d'information chambres et détecteurs rapides.

Il existe trois sources d'information : la chambre E, la chambre X et les détecteurs rapides. Les chambres E et X ont un rôle identique quant au prélèvement de l'information. Il est possible de décomposer l'ensemble étudié dans les sous-fonctions suivantes (Fig. IV.5.1) :

- Cartes amplificateurs et précodage ;
- Mémoire tampon associée aux chambres ;
- Mémoire tampon associée aux détecteurs rapides ;
- Fonction externe 1/n ;
- Séquenceur relecture - Sélection de zones - Masquage des groupes ;
- Emission vers l'ordinateur ;
- Mémorisation des commandes de l'ordinateur.

IV.5.1.1. Cartes amplificateurs et précodages. Les schémas de la figure IV.5.2 (a,b) illustrent les deux solutions possibles :

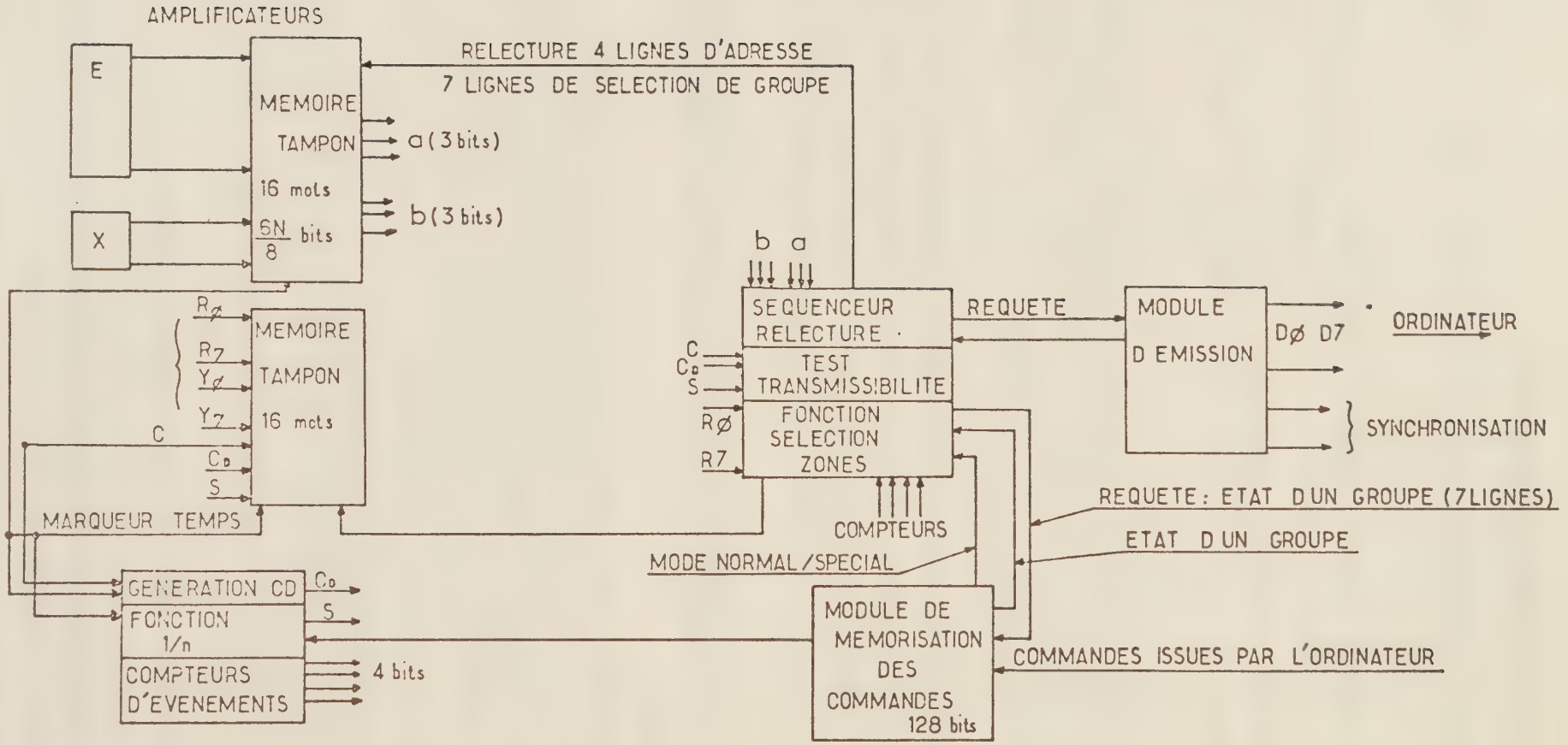


Fig. IV.5.1. Electronique en casemate.

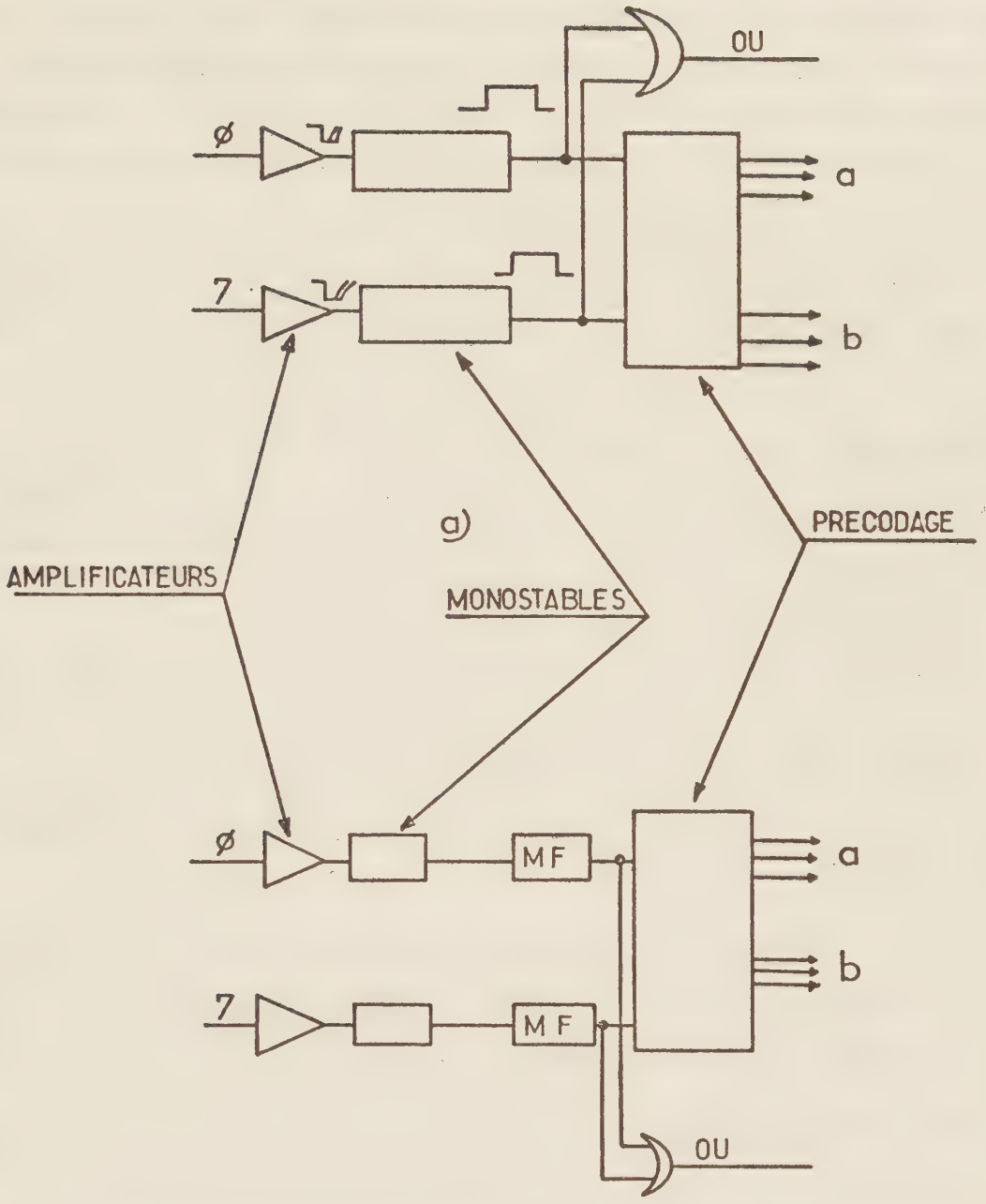


Fig. IV.5.2. Cartes amplificateurs et précodages.

a) Pour les amplitudes au-dessus du seuil, l'amplificateur délivre un signal standard en amplitude. Le front avant de ce signal déclenche un monostable dont la durée est suffisamment longue pour que le signal puisse être échantillonné et mémorisé dans la mémoire tampon. Cette largeur minimale se situe à 80 ns. Une durée typique et permettant un échantillonnage aisé sur 700 canaux se situe à 100 ns.

Ces temps sont évalués à partir du temps de propagation, d'une part des informations photomultiplicateurs, d'autre part des informations chambres.

b) Le monostable joue le rôle de retard. Le front arrière du monostable déclenche une mise en forme de largeur voisine du jitter maximal d'une information chambre. La dispersion des temps de propagation à travers les différents éléments ne permet pas de descendre en dessous de 80 à 90 ns pour la largeur de la mise en forme.

En conclusion, il est possible de gagner 80 ns sur l'occupation d'un paquet, cela au prix de l'insertion d'une mise en forme par canal. Compte tenu que les taux de multiples calculés sur la base de 160 ns et au taux de comptage maximal sont voisins de 1%, il ne paraît pas avantageux de retenir la solution b), la solution a) permettant une structure plus légère.

IV.5.1.2. Mémoire tampon associée aux informations chambres.

La capacité est de 16 mots mémoire (paragraphe IV.3.1.2).
La taille des mots mémoires est de :

(64 + 20) groupes x 6 bits = 504 bits pour le "900"

(64 + 24) groupes x 6 bits = 528 bits pour le "600"

La définition de ce module est relativement aisée. L'utilisation d'éléments intégrés adressables (l'adresse sélectionne le rang mémoire) à la capacité de 16 mots de 4 bits permet d'assurer à la fois la rapidité de 50 ns et une structure de relecture relativement simple. L'utilisation d'un compteur d'événements remis à zéro à chaque impulsion faisceau permet de pointer l'emplacement du prochain événement en mémoire. Le remplissage de la mémoire au rythme du marqueur temps s'effectue d'une manière incrémentale. La conjonction de la fluctuation des données a et b issues des groupes de codeurs et des variations de temps de présentation nécessaire aux différentes cellules mémoires peut entraîner l'enregis-

trement de paires (a, b) incorrectes ; le taux reste cependant très faible et se chiffre en quelques °/oo (expérience HE1 64 canaux). Des organes de multiplexage permettent la sélection d'un seul couple (a, b) à la relecture. La figure IV.5.3 représente la structure de la mémoire tampon et des organes périphériques.

IV.5.1.3. Mémoire tampon associée aux détecteurs rapides. Elle fonctionne à l'écriture sur le même principe que celle utilisée pour les chambres. Cependant, la relecture des informations est organisée de façon sensiblement différente (Fig. IV.5.4 a), en raison de l'utilisation des configurations ($R_\emptyset$ ... R_7).

Remarque : Nécessité d'un index spécial.

La réalisation de coïncidences entre les marqueurs temps des deux spectromètres nécessite plusieurs centaines de nanosecondes en raison de la distance séparant les deux casemates. L'enregistrement des marqueurs coïncidences ou coïncidences doubles ne peut donc s'effectuer sur le marqueur temps de chaque casemate.

On utilise pour cet enregistrement un marqueur temps retardé tel qu'il apparaît en figure IV.5.4 b.

L'information S issue de la fonction externe 1/n est générée également sur ce marqueur.

IV.5.1.4. Fonction externe 1/n. La division des événements doit être effectuée indépendamment des impulsions accélérateurs. Les compteurs utilisés pour pointer l'événement dans la mémoire tampon ne peuvent donc être utilisés. Un compteur spécial est donc utilisé, il est incrémenté par le marqueur temps retardé.

IV.5.1.5. Séquence relecture. Sélection des zones. Masquage de groupes.

Principe de fonctionnement : Le fonctionnement de l'ensemble de relecture est déclenché après chaque impulsion faisceau. Il obéit au schéma logique de la figure IV.5.5. Son bloc-diagramme est donné figure IV.5.6. L'état des compteurs C_1 et C_2, pointeurs respectifs en mémoire tampon associée aux chambres et en mémoire tampon (C, Cd, S), est contrôlé.

si $C_1 \neq C_2$ il y a eu désynchronisation, toutes les données relatives à l'impulsion faisceau sont annulées ;

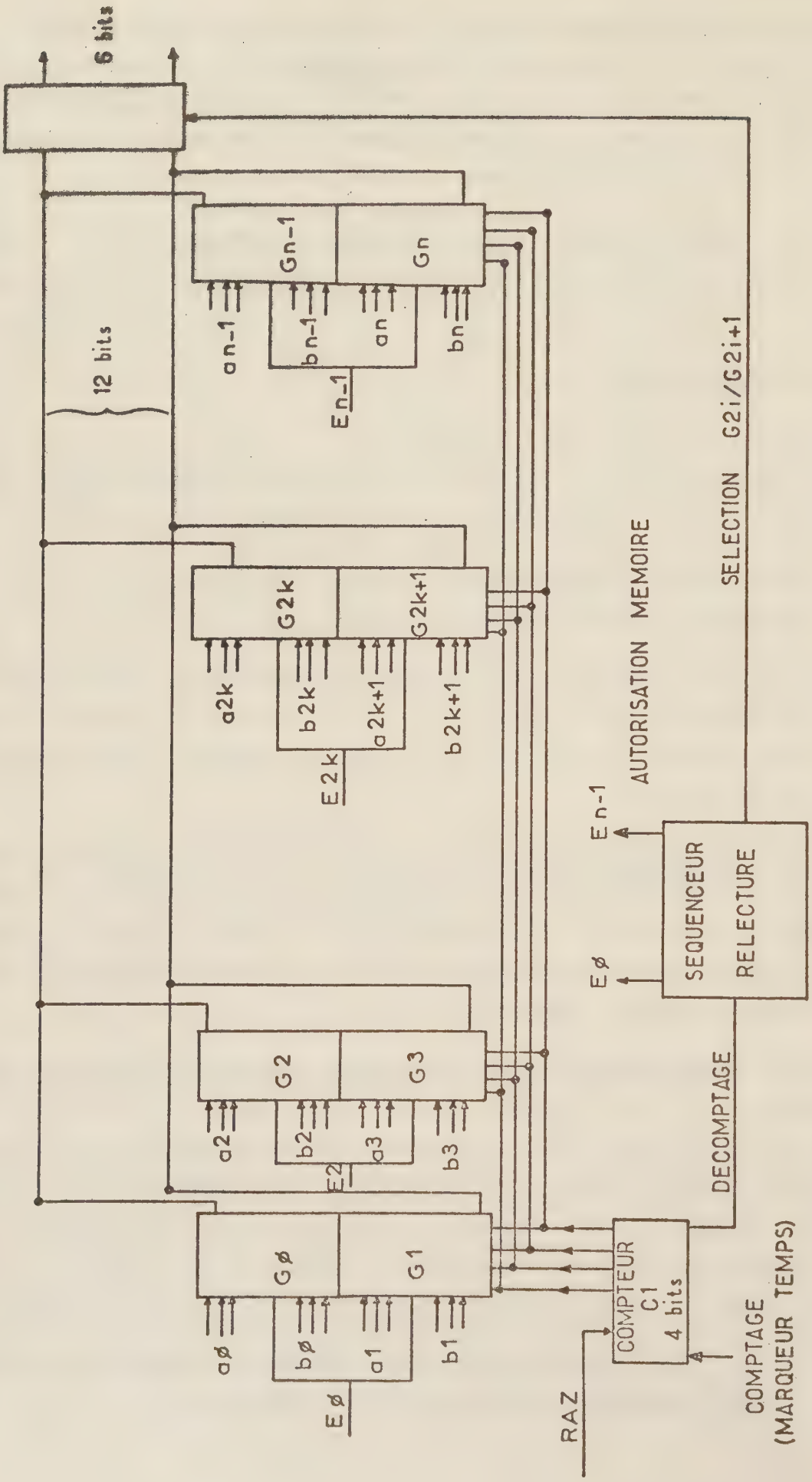


Fig. IV.5.3. Organisation de la mémoire tampon chambres.

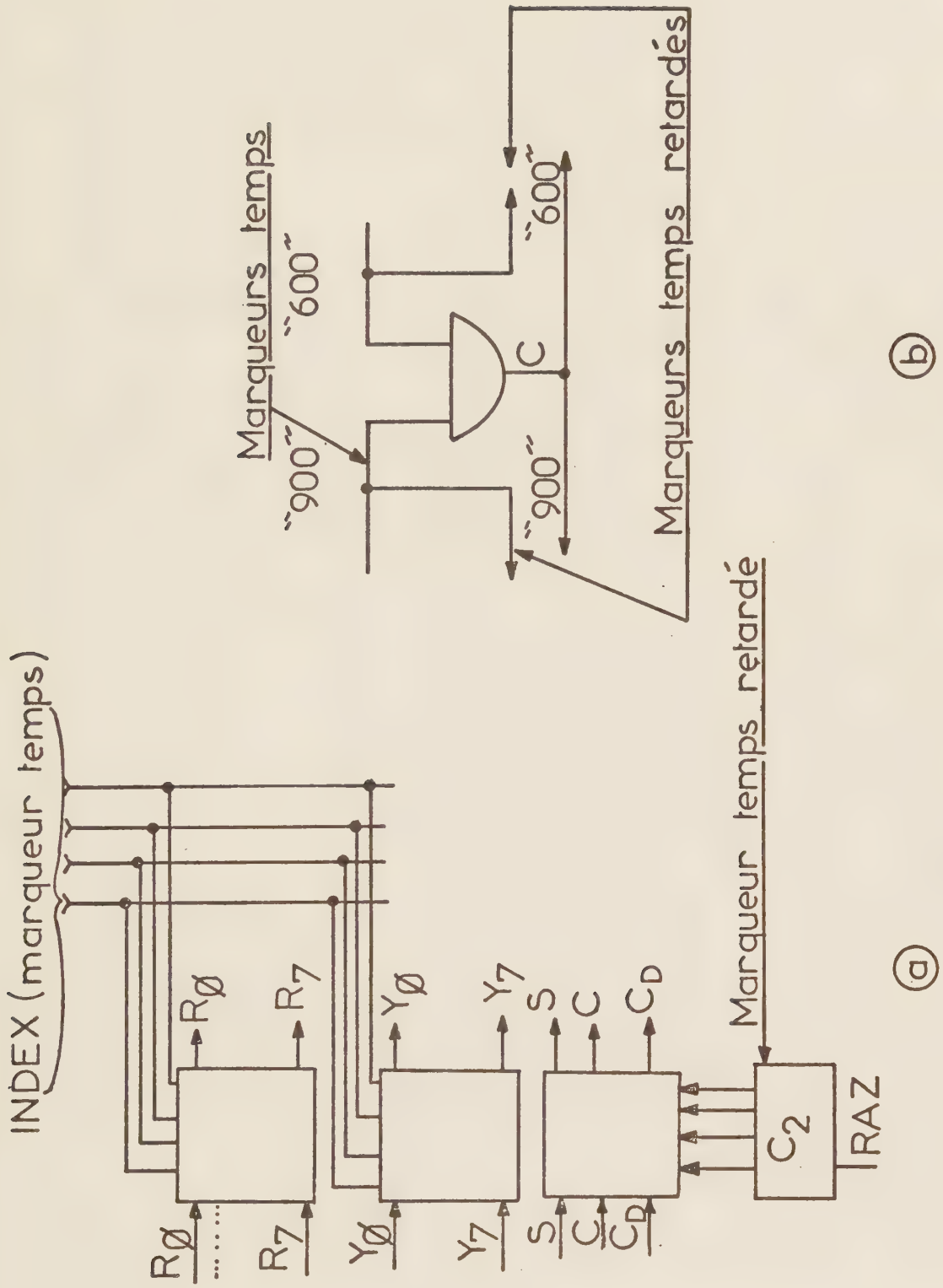


Fig. IV.5.4. Mémoire tampon associée aux détecteurs rapides.

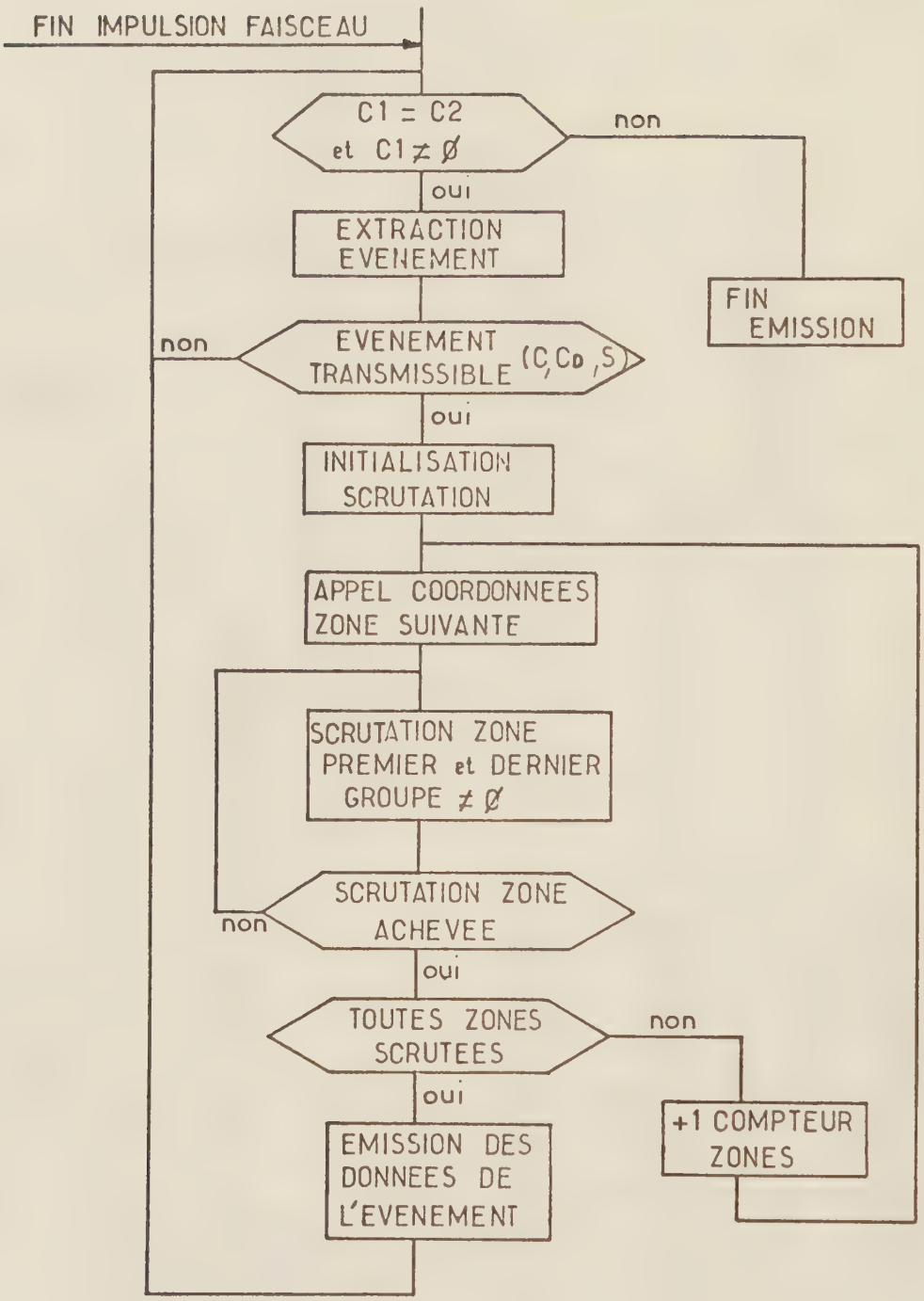


Fig. IV.5.5. Diagramme logique du module de relecture.

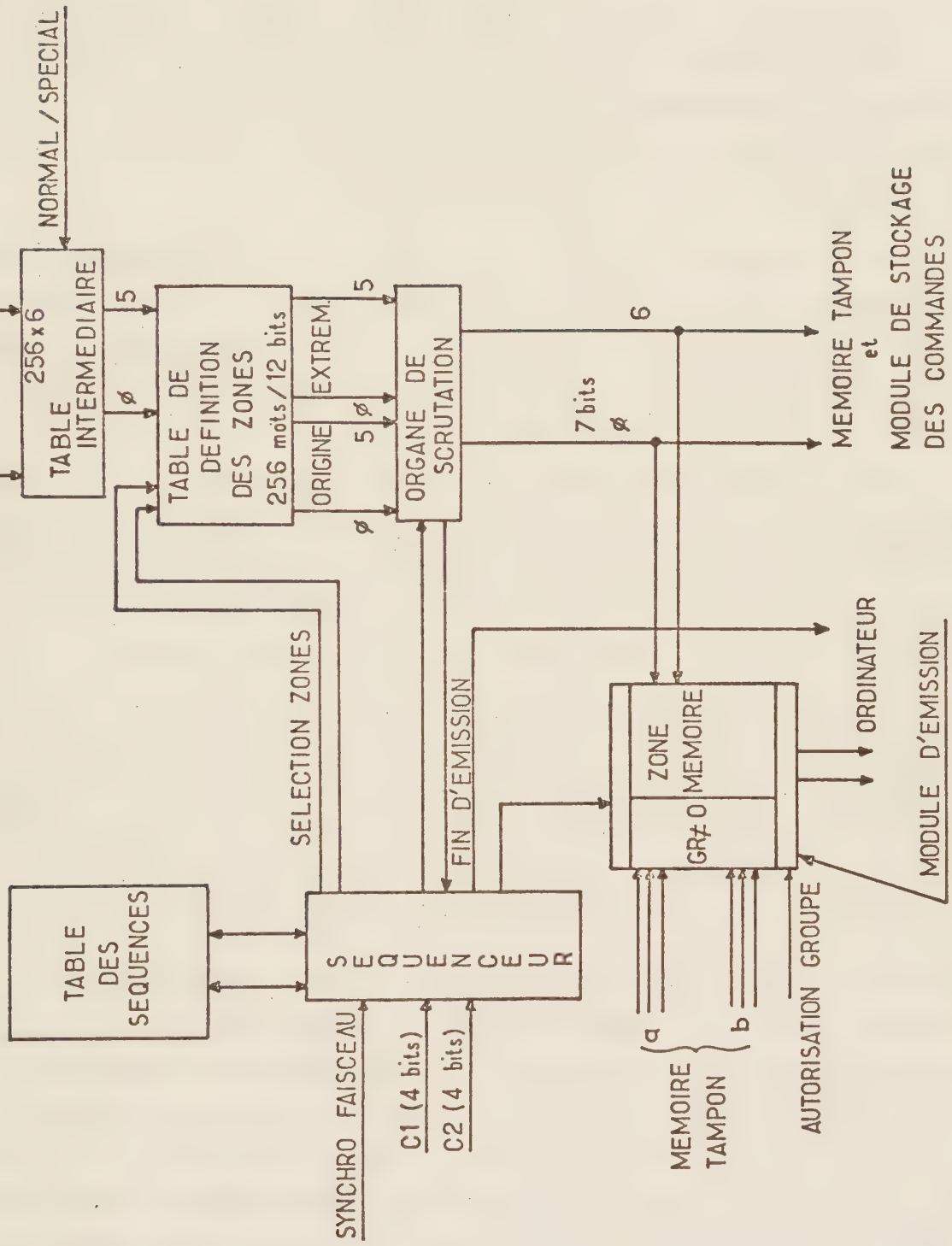


Fig. IV.5.6. Bloc diagramme du module relecture.

si $C_1 = C_2 = \emptyset$ il n'y a pas eu d'événement.

Dans ces deux cas, un avis de fin d'émission est envoyé à l'interface.

Si l'une ou l'autre des conditions ci-dessus n'est pas vérifiée, le premier événement est extrait des mémoires tampon. Le séquenceur vérifie sa transmissibilité

1) il a été autorisé par la fonction 1/n ;
2) et/ou il correspond à une coïncidence.

Si l'événement n'est pas transmissible, le séquenceur extrait le suivant ou émet un avis de fin d'émission. Dans le cas contraire, la scrutation est entreprise. Les zones sont examinées selon la séquence $Z_\emptyset E$, $Z_1 E$, $Z_\emptyset X$, $Z_1 X$. A l'intérieur des zones, la scrutation est réalisée selon le principe bidirectionnel hiérarchisé.

Les informations relatives à chaque zone sont stockées temporairement dans le module d'émission. Si, dans une zone, un événement n'appartient qu'à un seul groupe, la définition du groupe apparaît deux fois. Si une zone est vide de toute trace, elle est représentée dans ce format par 777Ø pour chacun des groupes.

Lorsque la scrutation des 4 zones est terminée, le séquenceur appelle le module d'émission. Les données relatives à l'événement sont alors transmises à l'ordinateur. A la fin de cette opération, le séquenceur reprend son activité en traîtant l'événement suivant ou en émettant un avis de fin d'émission. Un avis de fin d'émission termine toute activité de relecture des événements de la mémoire tampon.

IV.5.1.6. Module d'émission. Il est mis en opération par le module séquenceur relecture après chaque traitement d'événement transmissible. Il a pour fonction de reconstituer le format de l'événement à partir de données stockées dans ses propres registres ou la mémoire tampon, puis d'émettre ces données sous forme d'octets (16) ; si l'événement est en coïncidence, un signal spécial l'accompagne. Quand la transmission est terminée, le contrôle est cédé au module séquenceur relecture (Fig. IV.5.1).

VI.5.1.7. Module de réception des commandes. Lorsque tous les événements acquis dans la mémoire tampon pendant une impulsion accélérateur ont été traités, puis émis vers l'ordinateur, les conditions et

commandes relatives aux fonctions externes peuvent être modifiées. Après réception de l'avis de fin d'émission, l'interface émet, à destination des ensembles associés à chaque spectromètre, la liste intégrale de commandes, qu'il y ait eu ou non modification de cette liste.

La liste est stockée dans une mémoire dont la capacité est de 128 bits. L'affectation des bits mémoires est donnée ci-dessous :

	"900"	"600"	utilisation
Autorisation groupe E	64	64	relecture mémoire tampon
" " X	20	24	relecture mémoire tampon
Facteur de division	3	3	écriture mémoire tampon
normal/spécial	1	1	relecture mémoire tampon
	88	92	

L'écriture a lieu pendant l'impulsion faisceau, la relecture dans l'intervalle séparant deux impulsions.

IV.5.2. Structure de l'interface ordinateur.

Le vocable interface calculateur désigne en fait un ensemble de fonctions regroupées dans un même rack. Ces fonctions ont toutes le caractère de fonction de tampon et/ou d'échange avec l'ordinateur :

- Mémoire locale "900" et contrôle de transmission "900" ;
- Mémoire locale "600" et contrôle de transmission "600" ;
- Fonction de regroupement des coïncidences ;
- Fonction de transfert des données dans le calculateur ;
- Fonctions d'échanges avec le programme ;
- Fonction d'enregistrement de condition des fonctions externes.

Le bloc-diagramme de l'ensemble est représenté en figure IV.5.7.

IV.5.2.1. Mémoire et contrôle de transmission "900" et "600".

Les deux modules de réception des informations émis par la logique des spectromètres "900" et "600" ont une structure identique. Le bloc-diagramme d'un module apparaît en figure IV.5.7 :

Un contrôleur assure la réception de données et les enregistre dans une mémoire de 256 mots de 8 bits. Si une donnée est mal trans-

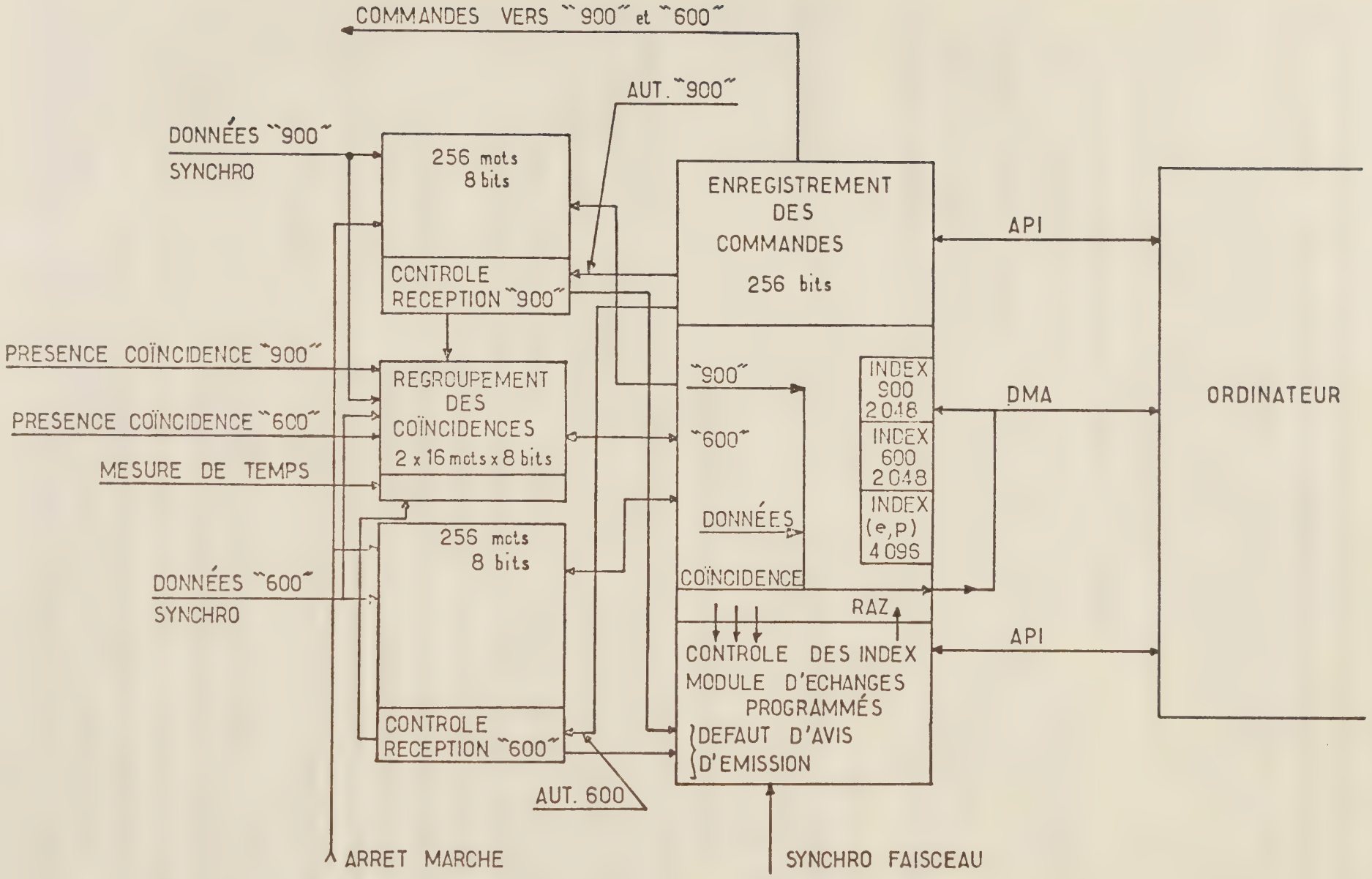


Fig. IV.5.7. Bloc diagramme de l'interface.

mise (synchronisation), la zone mémoire correspondante sera utilisée pour l'événement suivant ou ignoré si l'événement était le dernier.

A la réception de l'avis de fin de transmission, si au moins un événement a été validé après réception, une requête est transmise au module de transfert des données dans le calculateur.

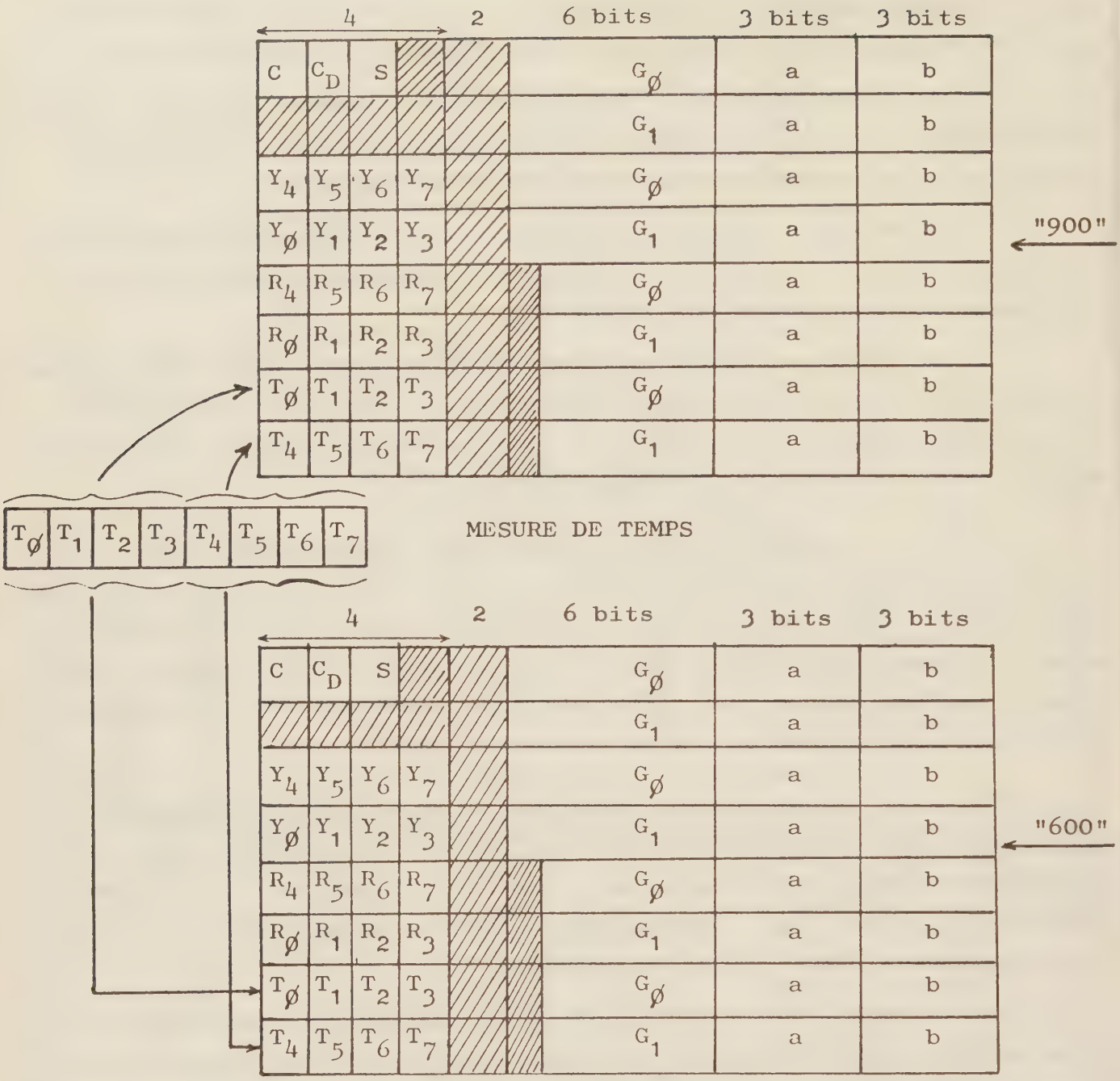
La mémoire locale d'interface est absolument nécessaire pour pouvoir prendre en compte des fréquences faisceau de 2000 Hz ou une transmission plus rapide des événements.

Si l'avis de fin d'émission n'est pas reçu à un temps maximal suivant la fin de l'impulsion faisceau, une requête est transmise au module d'échange avec le programme. Cette anomalie indique un défaut majeur de l'électronique (autodiagnostic).

IV.5.2.2. Fonction de regroupement des coïncidences. Elle est constituée de deux zones mémoires de 16 mots de 8 bits et d'un registre à 8 bits. Le registre à 8 bits est destiné au stockage de la valeur de mesure du temps ; une zone mémoire est contrôlée par le module "900", l'autre par le module "600". L'accès à ces zones est autorisé par les signaux d'accompagnement des coïncidences.

IV.5.2.3. Module de transfert des données dans le calculateur. Les requêtes de transfert des données "900", "600" ou coïncidence regroupée sont prises en compte par le module de transfert. Le transfert s'effectue en bloc dans l'ordre "900", "600", partie "900" de la coïncidence, partie "600" de la coïncidence.

Le module gère la relecture des données dans les mémoires locales, aiguille ces données vers les buffers en zone mémoire ordinateur, contrôle l'incrémentation des index associés avec ces derniers, et signale les défauts au module d'échange avec le programme. Les index ont pour capacité 2048-"900", 2048-"600", 4096-"coïncidence" ; le bit de plus fort poids indiquant le buffer en cours de remplissage, les informations coïncidences sont injectées sous le format ci-dessous :



Pour les événements simples ($T_\emptyset$, , T_7) sont mis à zéro.

IV.5.2.4. Module des échanges programmés. Ce module reçoit les requêtes :

- changement de buffer mémoire "900" ;
- changement de buffer mémoire "600" ;
- changement de buffer mémoire coïncidence ;
- défaut de fin d'émission "900" ;
- défaut de fin d'émission "600".

Ces requêtes sont transmises au programme par le canal d'interruption automatique API [22] ; le module assure également la lecture des index par le programme.

IV.5.2.5. Module d'enregistrement des conditions de fonctions externes. Ce module comprend une mémoire de 256 bits permettant le stockage des ordres ci-dessous :

. autorisation des groupes	E"900"	64 bits
. autorisation des groupes	E"600"	64 bits
. autorisation des groupes	X"900"	20 bits
. autorisation des groupes	X"600"	24 bits
. facteur de division	"900"	3 bits
. facteur de division	"600"	3 bits
. mode scrutation (R_0, ,R_7)	"900"	1 bit
. mode scrutation (R_0, ,R_7)	"600"	1 bit
. sélection "900"		1 bit
. sélection "600"		1 bit
total		182 bits

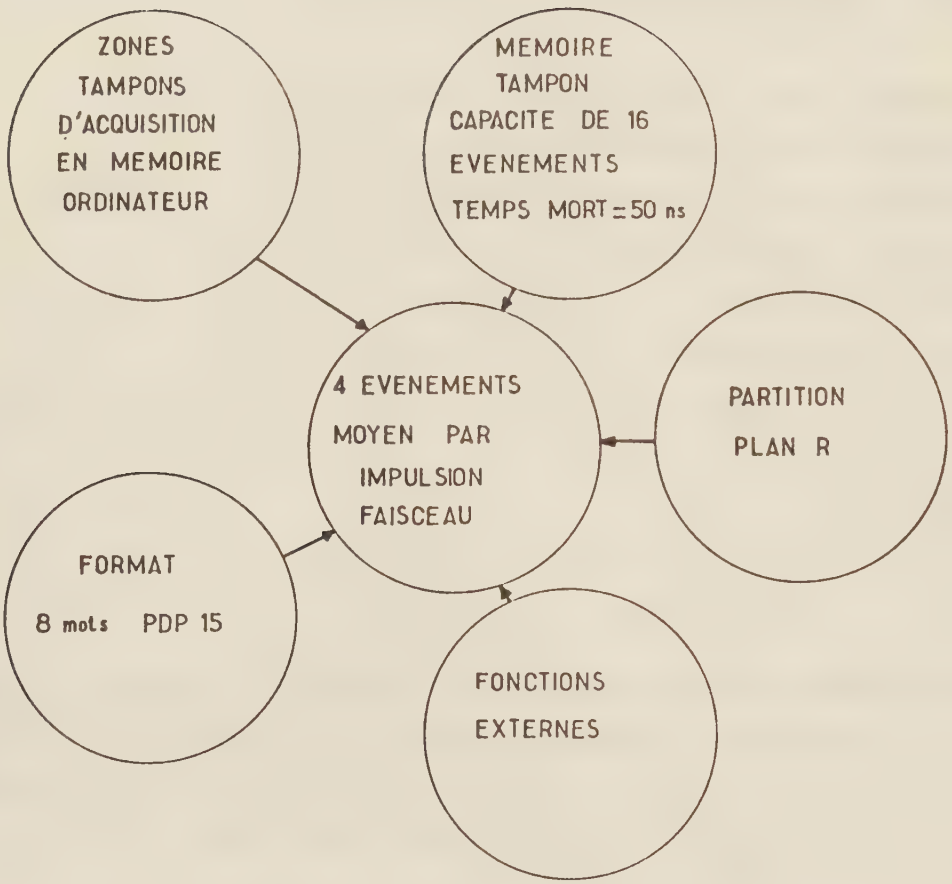
Les informations sont stockées sous contrôle programme, relues et émises dans l'inter-impulsion faisceau lorsque les avis de fin d'émission sont reçus. L'utilisation de la sélection "900" et de la sélection "600" a lieu dans l'interface même, la non autorisation de l'un des spectromètres interdit les coïncidences.

IV.6. CONCLUSIONS SUR L'ENSEMBLE DU SYSTEME DE PRISE D'INFORMATION.

La définition complète de la prise d'information, y compris la structure de la partie électronique est maintenant réalisée, les interactions avec l'ordinateur sont schématisées. Il reste en conséquence à confronter les choix effectués aux conditions du "cahier des charges" telles qu'elles ont été définies au chapitre II.

IV.6.1. Taux de comptage.

Le diagramme et le tableau de la figure IV.6.1 résument le choix des moyens sélectionnés et leurs limitations. Cependant, ils ne reflètent que les possibilités de l'ensemble détecteur et électronique à l'exclusion des possibilités des programmes :



Pertes temps mort sur chambre : ≠3%
Pertes liées à la rapidité mémoire tampon : 1%
Pertes liées à la capacité de la mémoire tampon : $< 10^{-3}$
Capacité des tampons en mémoire ordinateur : 128 événements
Temps moyen de remplissage d'un tampon : 32 ms (e)
(4 événements par impulsion faisceau) : 32 ms (p)
: 1,28 s (c)

Fig. IV.6.1. Réalisation de la capacité de comptage.

. La mémoire tampon permet d'ignorer le caractère pulsé du faisceau.

. Les buffers d'acquisition en mémoire ordinateur régularisent le flux d'informations et rendent improbable le rattrapage du traitement par l'acquisition.

La partition du plan R permet des taux de comptage plus élevés en réduisant le volume global de l'information et limitant les possibilités de traces fortuites.

L'utilisation de fonctions externes permet :

. d'éliminer des événements simples (e,e'p) (1/n) ;

. de réaliser le plein bénéfice de la partition au niveau logique, évitant ainsi une charge supplémentaire au programme ;

. de regrouper les différents constituants de la coïncidence (e,e'p) sans faire appel au programme ;

. de masquer un nombre quelconque de groupes de 8 canaux éliminant ainsi les parties les moins intéressantes du plan focal.

L'utilisation d'un format constant facilite le traitement au niveau programme.

La possibilité de traiter complètement les événements à l'extérieur de l'ordinateur par une fonction spécialisée sera réétudiée lorsque les premières expériences (e,e') et (e,e'p) auront permis d'évaluer l'intérêt d'une telle fonction.

IV.6.2. Le rejet du bruit de fond (Fig. IV.6.2).

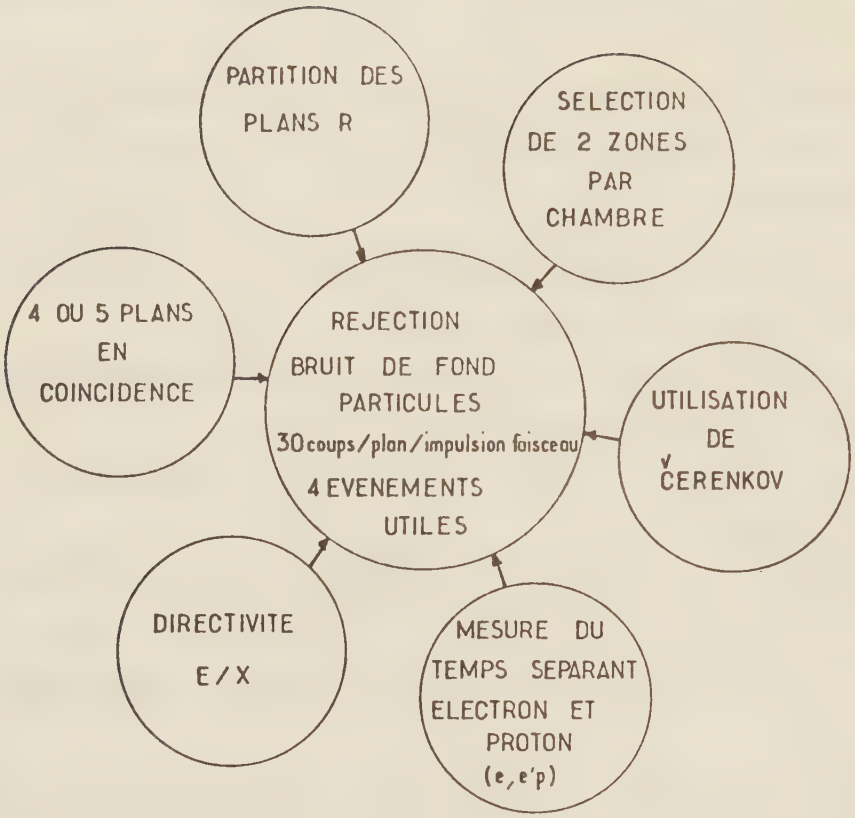
Il est réalisé par :

. L'introduction de deux plans R et Y utilisés pour marquer l'instant d'apparition de l'événement.

. L'utilisation pour le plan Y d'un détecteur sélectif (Čerenkov) lorsque cela est possible "900" (e,e') "600" (e,e'p) .

. La mesure et la correction de l'intervalle de temps séparant l'électron et le proton (e,e'p) permettant une meilleure séparation entre vraies coïncidences et fortuites.

. L'utilisation de la chambre X pour contrôler la directivité des particules.



FORTUITES R.Y. (τ coïncidence 10 ns)	:	1,3 / impulsion faisceau
FORTUITES (e,p) (τ coïncidence 20 ns)	:	120 / s
TAUX DE MULTIPLES PM (partition de 8)	:	4,4 %
TAUX DE MULTIPLES / ZONE CHAMBRE	:	5,2 %
TAUX GLOBAL D'EVENEMENTS PERDUS OU DISTORDUS PAR CHAMBRE	#	2.%

Fig. IV.6.2. Récapitulatif des moyens de rejection du bruit de fond.

. Une partition en 8 du plan R permettant le plus souvent la réjection des 7/8 des plans de détection.

. Le découpage de la surface de chambres "vue" par la configuration ($R_{\emptyset}$, , R_7) en deux zones.

. L'acceptation d'un format assez large traduisant le relevé de l'état de deux groupes de 8 voies par zone et le principe de codage hiérarchisé bidirectionnel.

L'ensemble de ces moyens permet d'estimer que la protection contre le bruit de fond particules est parfaitement réalisé.

IV.6.3. Maintenabilité.

L'introduction d'autodiagnostics (fin d'avis d'émission et contrôle des index) ainsi que le contrôle des inégalités $a \leqslant b$ dans un groupe et $G_0 \leqslant G_1$ dans une zone permettent de s'assurer du bon fonctionnement du système ou de localiser des défauts. La modularité et l'indépendance des canaux d'acquisition doivent permettre une maintenance aisée.

IV.6.4. Contre-réaction sur l'expérience. Possibilités de traitement en ligne.

Contrôle de l'expérience

Un certain nombre de moyens ont été dégagés par la programmabilité des fonctions externes.

L'utilisation de périphériques d'information directe de l'opérateur (écran de visualisation à mémoire, clavier, télétype, imprimante) complète ces moyens.

Le traitement en ligne étant spécifique de chaque expérience (e,e'), (e,e'p), il n'est pas possible à ce niveau de tirer des conclusions générales. Cependant, pour les expériences (e,e'), le taux de comptage maximal de 4 événements par impulsion faisceau ne pourra être assuré pour un traitement complet de l'événement.

En traçant les points saillants des traitements et de l'organisation des programmes i) pour une expérience de spécification d'un des ensembles "900" ou "600" et ii) pour une expérience (e,e'p), le chapitre V permettra d'évaluer le comportement global du système d'acquisition.

Chapitre V

TRAITEMENT EN TEMPS REEL

Ce chapitre a pour but d'illustrer par un exemple les possibilités de traitement de l'information issue de l'ensemble de détection et d'acquisition de données. Deux programmes d'acquisition et de traitement ont été réalisés en vue des objectifs suivants : i) mise au point et spécification de l'ensemble de détection et d'acquisition relatif à un spectromètre ; ii) réalisation d'expériences (e, e'p).

Le premier programme est orienté vers la mise au point et le contrôle des performances de l'appareillage ; la liste ci-dessous en résume les principales fonctions

. mesure de l'efficacité des chambres,

. contrôle du point d'échantillonnage des informations en mémoire,

. influence des paramètres haute tension chambre ou densité de bromure,

. distribution des largeurs de clusters,

. taux d'événements multiples,

. influence du taux de comptage,

. contrôle des directivités E/X,

. classement des événements "anormaux" dans des compteurs témoins,

. contrôle du fonctionnement et de l'efficacité des différentes fonctions externes,

. histogrammes des informations E, X, E autorisées par X,

. histogrammes des voies X correspondant à des voies E sélectionnées

Ce programme est, en conséquence, un outil d'investigation du fonctionnement de l'appareillage. Il ne vise pas à une rapidité de traitement mais à la meilleure analyse de la réponse de l'ensemble de détection. Il est utilisé avant toute expérience (e,e') ou (e,e'p) pour

s'assurer de la qualité de l'appareillage et constitue un programme de test global sous faisceau. Une version légèrement modifiée est utilisée pour la réalisation d'expériences (e,e'). Sa vitesse d'acquisition est limitée à 300 événements/s.

Le deuxième programme, orienté vers la réalisation d'expériences (e,e'p), ne s'intéresse pas à la dissection des informations non récupérables pour l'expérience ; il les classe en quelques catégories témoins, spécifiques des ensembles liés à chaque spectromètre ou de l'ensemble de mesure de l'information temps, ces témoins constituant des alarmes pour l'expérimentateur. Ce programme a pour but de pousser le plus loin possible l'analyse des informations acquises afin de fournir à l'expérimentateur des éléments de réflexion et de choix sur l'intérêt du point expérimental. Il bénéficie, par rapport aux expériences précédentes, des avantages suivants :

- expérience acquise avec le programme utilisé en HE3 [28],
- utilisation d'un ordinateur sensiblement plus puissant.

Le programme sera décrit dans ses grandes lignes

- nature du traitement,
- organisation générale de l'expérience,
- implantation en ordinateur.

V.1. RAPPELS SUR LE MATERIEL D'ACQUISITION ET DE TRAITEMENT DE L'INFORMATION.

V.1.1. L'ordinateur.

L'ordinateur en ligne est un PDP 15. Ses caractéristiques essentielles, ainsi que la liste des équipements périphériques, ont été données au chapitre II. Ses possibilités de calculs ont été largement améliorées par l'adjonction à l'unité centrale d'une unité arithmétique étendue (E.A.E.) et d'un flottant câblé.

Pour les échanges d'informations, cet ordinateur dispose [22] i) d'un accès direct en mémoire (D.M.A.) et ii) d'un accès sous contrôle programmé.

Des deux modes d'interruption disponibles PI (interrogation séquentielle des périphériques) et API (branchement automatique au programme de traitement de l'interruption) seul, le second est utilisé en raison de sa rapidité.

V.1.2. Développement de périphériques spéciaux.

Pour faciliter la connexion et l'utilisation du dispositif de détection HE1, deux périphériques spéciaux ont été développés.

V.1.2.1. Compensation de ligne omnibus COMPLO. Le nombre de périphériques pouvant échanger des informations avec l'ordinateur est de :

canal d'accès direct en mémoire	: 3	coïncidences "900" "600"
canal programmé	: 6	index : "600", "900", coïncidences, défaut "900", défaut "600" fin d'écriture RMM

auquel il faut ajouter certains ordres spécifiques au module interface (remise à zéro par programme).

Les lignes d'entrée/sortie de l'ordinateur étant limitées à 75 pieds et étant largement saturées par les périphériques standard , il n'est pas possible d'utiliser une connexion pour chacun des périphériques propres aux expériences HE1. Un ensemble permettant le multiplexage des informations circulant vers, ou en provenance de, l'ordinateur a été réalisé. Les seuls modes utilisables sont :

DMA 1 cycle entrée/sortie
API niveau 1
API niveau 3

Quatre ports permettant chacun la connexion de huit périphériques par mode sont ainsi disponibles.

V.1.2.2. Organe de visualisation à mémoire. Il a été noté précédemment qu'au taux de comptage maximal envisagé, la rapidité du traitement de l'information était insuffisante. Dans ces conditions, l'utilisation d'une unité de visualisation à rafraîchissement est pénalisante pour le contrôle en ligne de l'acquisition.

Une unité de visualisation à mémoire conçue autour d'un tube Tektronix 611(162) a été réalisée. Afin de simplifier les listes d'ordre nécessaires à la formation d'une image, de diminuer le volume mémoire nécessaire et le temps prélevé à l'ordinateur pour la formation d'une image, cette unité a été équipée des modules suivants :

Module microprogrammé.

Il permet la réalisation d'images à partir d'ordres simples du PDP 15 ; un ordre correspond à deux mots PDP 15. Les ordres possibles sont :

- mode alphanumérique (ASCII)
- mode histogramme (ΔX,Y)
- mode vecteur éteint (ΔX,ΔY)
- mode point à point (X ; Y)

Module "mémoire élastique".

Une mémoire élastique (first in-first out memory) est utilisée pour simplifier les relations entre l'unité microprogrammée et l'ordinateur. Cette mémoire permet le chargement d'au moins 64 ordres. L'ordinateur remplissant cette mémoire, dès qu'elle apparaît non vide, l'unité programmée commence l'exécution des ordres :

1) si l'exécution est plus rapide que le remplissage du point de vue ordinateur, l'image sera générée à partir d'une seule requête ;

2) si l'exécution est plus lente, l'ordinateur cesse le remplissage de la mémoire sur apparition du signal mémoire pleine ou si l'image est terminée , l'unité microprogrammée rappelant l'ordinateur lorsque la liste des ordres en mémoire élastique aura été épuisée.

V.2. PROGRAMME RELATIF A UNE EXPERIENCE (e,e'p).

V.2.1. Analyse du traitement.

V.2.1.1. Type et fréquence des informations. Les informations délivrées par l'ensemble de détection sont de deux types :

1) Simples électrons ou protons.

Utilisation : ces informations sont utiles :

- pour effectuer une mesure de l'efficacité des chambres ;
- pour évaluer et classer les fortuits ;
- pour monitorer l'expérience.

Leur nombre, de l'ordre de deux événements par impulsion faisceau et par casemate, est trop élevé pour pouvoir les traiter tous. Par ailleurs, la statistique serait plus importante que la précision requise ne l'exige. L'utilisation de la fonction externe facteur de division (1, 2, 4, 8, 16, ∞) permet d'en réduire le nombre.

2) Coïncidences fortuites et totales.

Les événements en coïncidence sont définis par une triple information (e,p,t) dont le format a été donné au chapitre IV.3. Selon la mesure de temps, les événements sont classés en fortuits et totaux, les coïncidences totales étant soit de vrais événements, soit des coïncidences fortuites.

Taux de comptage. Les coïncidences fortuites dépendent exclusivement de la résolution en temps du générateur de marquage des coïncidences et du taux de comptage en simples. Un taux de quelques dizaines de coïncidences fortuites par seconde est typique. Les coïncidences totales dépendent essentiellement du noyau, de l'épaisseur de la cible, de la cinématique. Le taux de comptage peut être inférieur à un événement par heure.

V.2.1.2. Traitement des simples. Chaque événement électron ou proton est représenté sur huit mots PDP 15. Le programme

- ramène l'information à une paire (E,X) "600" (512, 192) "900" (256, 160)
- contrôle la directivité E/X
- classe les événements anormaux en :
  - défauts d'efficacité E ou X
  - événements multiples — contrôle de l'expérience
  - événements anormaux
- constitue l'histogramme des comptages sur les chambres E.

V.2.1.3. Traitement des coïncidences. Il est possible de décomposer le traitement des coïncidences selon la liste fonctionnelle suivante :

- élimination, comptage et classement des événements rejetés ;
- constitution de chaque événement validé sous la forme (E "900", X "900", E "600", X "600", t) ;
- incrémentation des histogrammes E "900", E "600" ;
- correction de la mesure de temps ;
- constitution des histogrammes : mesure de temps brute
  : mesure de temps corrigée ;
- incrémentation de la pile coïncidence totale ;
- calcul de l'énergie manquante ;

. calcul de l'impulsion dans le noyau ;

. classement des coïncidences dans un tableau (Em, p).

1) Classement et rejection d'événements anormaux.

Les événements non récupérables sont classés dans les catégories suivantes :

. absence d'une des particules

. défauts d'efficacité sur les chambres E ou X

. événements anormaux (clusters négatifs, ...) ; multiples (les multiples ne sont pas récupérables puisqu'ils n'y a pas unicité d'information E et/ou X par particule). Ces classements permettent un contrôle de l'expérience et la localisation de défauts éventuels.

2) Constitution de l'événement coïncidence validée.

Chaque simple constituant la coïncidence ayant été traité et validé, la coïncidence est compactée sous la forme :

E "900", (X-XE) "900", E "600", (X-XE) "600", t ;

XE est l'origine de la zone de directivité correspondant à la voie E. L'utilisation de (X-XE) permet de réduire le format de l'information.

3) Incrémentation des histogrammes E "900" et E "600".

Les simples constituant la coïncidence sont intégrés dans les spectres correspondants.

4) Correction de la mesure de temps.

La mesure de temps séparant les deux particules doit être corrigée des quantités suivantes :

a) valeurs d'ajustements de retards selon les scintillateurs du plan R ; ces valeurs sont mesurées lors d'un test électronique et entrées comme données à l'initialisation de la séquence expérimentale ;

b) des temps de parcours des particules à l'intérieur des spectromètres ; ces temps peuvent être calculés à partir des relations de dispersion des spectromètres et de l'angle d'entrée.

Les relations sont du type :

$$t = a+bE+cE^2 + d(X-XE) + e(X-XE)^2 + fE(X-XE) ;$$

les variations de temps de parcours sont sensibles, surtout pour le proton. [Pour $\beta = 0,3$ t = 11 ns pour un proton. Pour un électron t $\in$ 1,8 ns, 3,3 ns].

5) Constitution des histogrammes. Mesure de temps brute. Mesure de temps corrigée.

Des spectres à 256 canaux sont constitués à partir des mesures brutes et corrigées. On classe les coïncidences en :

fortuites type 1

totales

fortuites type 3

à partir des zones correspondantes sur le spectre en temps corrigé (Fig. V.2.1).

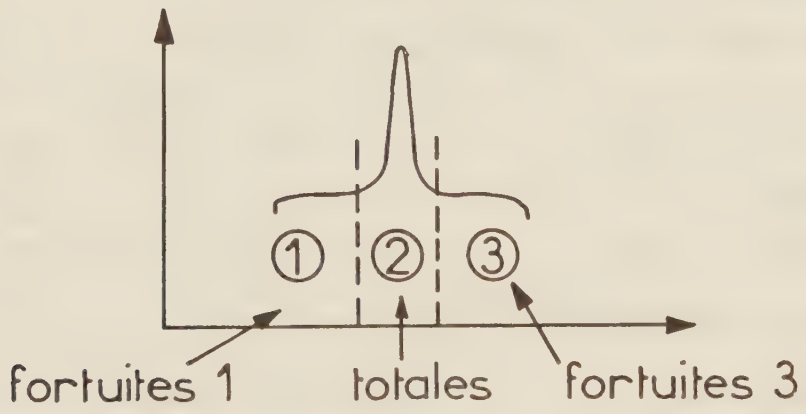


Fig. V.2.1. Coïncidences totales et fortuites

6) Incrémentation de la pile coïncidence totale.

Les coïncidences totales sont stockées dans une pile pouvant contenir 1000 coïncidences. Cette pile sera transférée sur bande magnétique (pour analyse des événements individuels sur ordinateur scientifique hors ligne), soit sur requête de l'expérimentateur, soit sur détection de fin de pile.

7) Calcul de l'énergie manquante.

L'énergie manquante E_m est calculée à partir de la relation

$$E_m = \mathcal{E}^* + M_{A-1} + M_p - M_A$$

$$= e - e' - T_{A-1} - T'_p$$

L'histogramme de la distribution des comptages selon E_m est constitué.

8) Calcul de l'impulsion dans le noyau.

Le module de l'impulsion $|\vec{p}|$ est calculé à partir de la cinématique de la réaction

$$\vec{e} - \vec{e}' - \vec{p}' = -\vec{p}$$

$\vec{p}'$ est l'impulsion du proton détecté.

9) Classement des coïncidences dans un tableau (E_m, p).

Les coïncidences fortuites ou totales sont classées dans un tableau (E_m,p) dont les dimensions sont données pour une expérience par les domaines explorés en E_m et p et les résolutions choisies.

Nécessité et principe du classement.

Un événement coïncidence étant défini par E_e, X_e, E_p, X_p, soit i, j, k, l les indices correspondants

$$N_{ijkl} = \sigma_{ijkl}\, \varepsilon_i \varepsilon_j \varepsilon_k \varepsilon_l\, \Delta e_i\, \Delta\Omega_{ij}\, \Delta e_k\, \Delta\Omega_{kl}$$

σ_{ijkl} est la section efficace à mesurer, $\varepsilon(i,l)$ l'efficacité dans les éléments de volume définis par : $\Delta e_i\, \Delta\Omega_{ij}$ et $\Delta e_k\, \Delta\Omega_{kl}$,

Δe_i acceptance en énergie d'une voie ; $\Delta\Omega_{ij}$ acceptance angulaire d'une voie tels qu'ils sont définis par le dépouillement des mesures de champ dans les spectromètres.

Le comptage corrigé des efficacités est donné par :

$$\bar{N}_{ijkl} = \frac{N_{ijkl}}{\varepsilon_i \varepsilon_j \varepsilon_k \varepsilon_l} .$$

Le comptage des fortuites est donné par :

$$N_F = N_{ij}\, N_{kl} = \sigma_i \sigma_k\, \varepsilon_i \varepsilon_j \varepsilon_k \varepsilon_l\, \Delta e_i \Delta\Omega_{ij}\, \Delta e_k \Delta\Omega_{kl} .$$

Il n'est pas possible de classer les coïncidences selon les paramètres i,j,k,l compte tenu des dimensions d'un tel tableau. Les coïncidences sont donc regroupées selon deux paramètres caractéristiques des expériences (e,e'p) : l'énergie manquante E_m et l'impulsion du proton dans le noyau p. L'élément de volume associé à la case (E_m,p) est calculé par une méthode de Monte Carlo

$$P(E_m,p) = \sum_{ijkl} \Delta e_i \, \Delta\Omega_{ij} \, \Delta e_k \, \Delta\Omega_{kl} \Big|_{E_m,p}$$

les pas ΔE_m, Δp étant constants.

Ce calcul doit être effectué à chaque changement des conditions cinématiques.

La distribution corrigée des efficacités des fortuites en fonction de (E_m,p) peut être calculée à partir des mêmes tirages.

$$F(E_m,p) = \sum_{ijkl} \sigma_i \, \sigma_k \, \Delta e_i \, \Delta\Omega_{ij} \, \Delta e_k \, \Delta\Omega_{kl}.$$

La section efficace est enfin obtenue par

$$\sigma(E_m,p) = \frac{\sum_{ijkl} \bar{N}_{ijkl} - \lambda F(E_m,p)}{P(E_m,p)}$$

λ est un facteur de normalisation calculé à partir des hauteurs des zones 1), 2), 3) de la figure V.2.1.

Pour un domaine maximal en E_m,p correspondant à

E_m	- 20 à + 120 MeV	et une résolution de 0,25 MeV
P	0 à 500 MeV/c	et une résolution de 8 MeV/c

chaque tableau doit contenir environ 3000 cases réellement occupées. Il est donc nécessaire d'organiser l'implantation de ces tableaux pour réduire la place occupée en mémoire. Ces tableaux doivent être disponibles sur un des organes de dialogue avec l'expérimentateur.

V.2.2. Déroulement de l'expérience du point de vue traitement de l'information.

L'analyse du traitement nécessaire entraîne les séquences suivantes :

- définition des conditions de l'expérience,
- calcul des poids (cases (E_m,p)) et acquisition de simples,
- acquisition des coïncidences et contrôle de la stabilité de l'appareillage par les simples,
- information de l'expérimentateur,
- sauvegarde de l'information.

V.2.2.1. Définition des conditions de l'expérience. Avant toute acquisition, il est nécessaire de fournir au programme les informations nécessaires :

. conditions cinématiques,
. conditions relatives aux chambres ou à la logique d'acquisition,
. supports de sortie de l'information.

La figure V.2.2. liste les différentes informations (indicatif) fournies au programme. L'opération est exécutée de manière intéractive en utilisant l'unité de visualisation VT 15. A l'achèvement de cette opération les différents paramètres sont initialisés. L'acquisition est lancée.

V.2.2.2. Acquisition de simples et calcul des poids. On montre, dans le paragraphe V.2.1.,la nécessité d'établir trois tableaux (poids, distribution des fortuites, distribution (coïncidences totales-fortuites)). Il est donc nécessaire de commencer l'expérience par l'établissement des deux premiers tableaux et de ne traiter les coïncidences que lorsque les conditions de leurs classements seront établies :

. statistique suffisante pour mesurer les efficacités,
. remplissage des cases des tableaux poids et fortuites.

V.2.2.3. Acquisition des coïncidences. Contrôle de l'expérience. Les étapes V.2.2. (1 et 2) étant réalisées, il est possible d'acquérir et de traiter les coïncidences :

. Les simples sont divisées par les fonctions externes et sont traités dans un but de monitorage des conditions expérimentales.
. Les événements coïncidence sont traités selon l'analyse faite en V.2.1.3.
. Si la pile coïncidence est pleine, une sortie automatique sur bande magnétique est exécutée, l'acquisition est relancée par le programme après achèvement de cette opération.
. L'information de l'expérimentateur en cours d'acquisition est réalisée par le canal de l'unité de visualisation à mémoire et sur requête au programme.

Les informations disponibles sont :

. spectre E "900"
. spectre E "600"

```
01   NUMERO DE SEQUENCE                              61648
02   INDICATIF                                     3510756
03   ENERGIE INCIDENTE    (MEV)                  444.5
04   OUVERTURE FENTE      (0/00)                 .5
05   GAMME FERRITE ** NIVEAU TEST                2  .5
06   GAMME FARADAY                               6
07   ANGLE CIBLE(DEG) ** NUMERO                  43  4
08   CHAMP  900 (KHZ)                            36500
09   ANGLE  900 (DEG) ** DIAPHRAGME              31.92  6
10   CHAMP  600 (KHZ)                            36486
11   ANGLE  600 (DEG) ** DIAPHRAGME              64.25  6
12   DIV. SIMPLES 900 HARD ** SOFT               8  1
13   DIV. SIMPLES 600 HARD ** SOFT               8  1
14   VOIES CONS.  900  E MAX ** MOY              8  2
15                     X MAX ** MOY              3  1
16                600  E MAX ** MOY              4  1
17                     X MAX ** MOY              3  0
18   SCRUTATION 900 : MODE ESSAI
19   SCRUTATION 600 : MODE ESSAI
20   LARGEUR CANAL CTA (NS)                      .52  30.
21   BORNES CTA (T1**T2**T3**T4)                 100 135  162  185
22   LARGEUR CANAL ENERG ** IMPULS               .33 10.
23   ENERGIE MANQUANTE MINIMA                    -15.
24   PRECOMPTE AFFICHE (N**P)  LU                2   5          +
25   COMMENTAIRES                                CARBONE 12  P=-100
```

Fig. V.2.2

. spectres mesure de temps brute, mesure de temps corrigée
. spectre énergie manquante
. compteurs témoins de l'expérience.

V.2.2.4. Information de l'expérimentateur. Une information plus complète est disponible en fin de séquence expérimentale. La séquence correspond à l'acquisition d'une statistique suffisante sur un point expérimental. Une fin de séquence ou une continuation de séquence (avec intégration des données précédemment acquises) est générée par l'expérimentateur. Sur fin de séquence, le programme :

. liste l'indicatif,
. liste les compteurs témoins,
. engendre l'image correspondant à l'indicatif.

L'opérateur peut, soit :

. lister les informations acquises (imprimante rapide),
. générer l'image des différents histogrammes (spectres, tableaux ..)
. générer des histogrammes de distribution selon E_m à partir de la visualisation des tableaux (E_m, p)

V.2.2.5. Sauvegarde de l'information. Chaque séquence ayant été découpée en runs correspondant à la sauvegarde des informations coïncidentes brutes (E_e, X_e, E_p, X_p ; t) en fin de séquence, les informations réduites :

spectres E "900"
E "600"
tableaux

sont déposés sur bande magnétique compatible IBM 7 pistes. Il existe donc un support papier (V.2.2.4) et un support magnétique pour enregistrer les informations.

V.2.3. Quelques aspects de la réalisation du programme (e,e'p).

V.2.3.1. Ecriture des programmes.

Les programmes de gestion des périphériques standard sont disponibles dans la bibliothèque du calculateur ; il en est de même pour la plupart des programmes de transcodage.

Les programmes spécifiques à l'expérience ont été écrits en Macro 15 ou en Fortran IV. D'une manière générale, les programmes relatifs à la gestion des interruptions et à la manipulation des données (masquage, manipulation de bits, tests) en provenance du dispositif expérimental ont été écrits en Macro 15. Les calculs ont été écrits en Fortran. Cependant, quelques programmes Fortran ont été réécrits en Macro afin de diminuer leur volume en programme objet et d'accroître leur vitesse d'exécution.

V.2.3.2. Implantation des programmes. Il n'est évidemment pas possible d'implanter l'intégralité du programme dans les 40 K disponibles, la seule implantation de buffers d'acquisition et des différents histogrammes ou tables occupant près de 24 K. Tous les programmes n'étant pas nécessaires simultanément en mémoire, une technique de chaînage (overlay) a été utilisée.

Certains programmes sont implantés en permanence en mémoire ; ils peuvent appeler des programmes situés sur le disque rapide. Par l'intermédiaire de liens, les programmes appelés peuvent, à leur tour, appeler d'autres programmes. La figure V.2.3. schématise l'implantation des programmes en mémoire et dans les différents liens. Les programmes sont toujours implantés en dessous de 24 K (adresse $57\ 777_8$). L'occupation des mémoires entre les adresses Ø et $16ØØØ_8$ est réservée au système.

V.2.3.3. Quelques caractéristiques d'exécution. On ne peut définir que des caractéristiques moyennes de vitesse d'exécution en raison des traitements variables selon les données :

- traitement moyen d'un événement simple : 800 µs
- traitement moyen d'une coïncidence : 6 ms
- temps moyen d'établissement des tableaux : poids : 2 h
  : fortuits

V.3. ANNEXE : SCHEMA DE L'ANALYSE D'UN EVENEMENT SIMPLE.

Le traitement d'un événement simple est un composant commun à tous les programmes utilisant l'ensemble de détection et d'acquisition. Pour (e,e'p), il est utilisé également pour le traitement des coïncidences. Le schéma de l'analyse effectuée est donné en annexe afin d'illustrer l'importance de ce traitement.

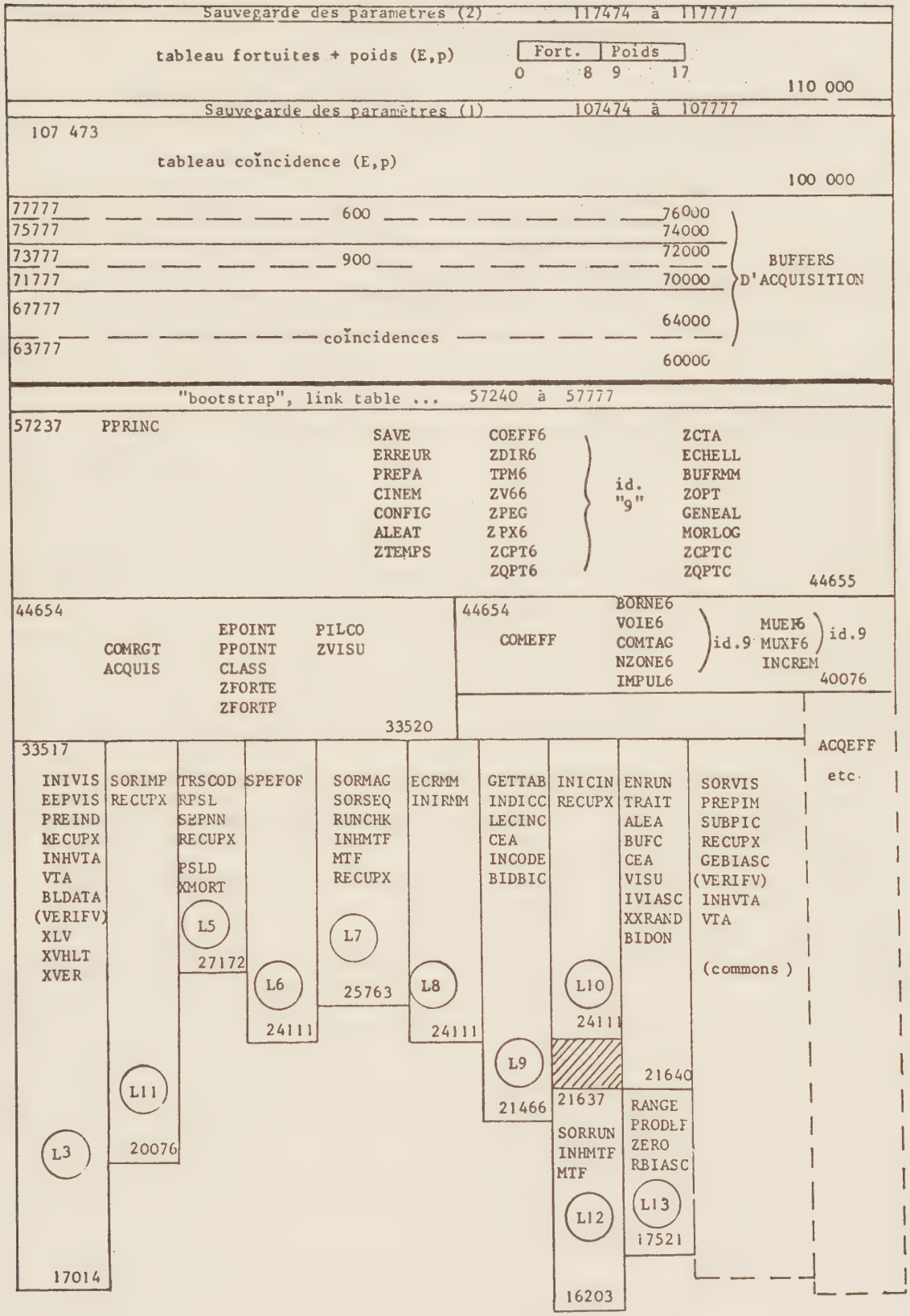
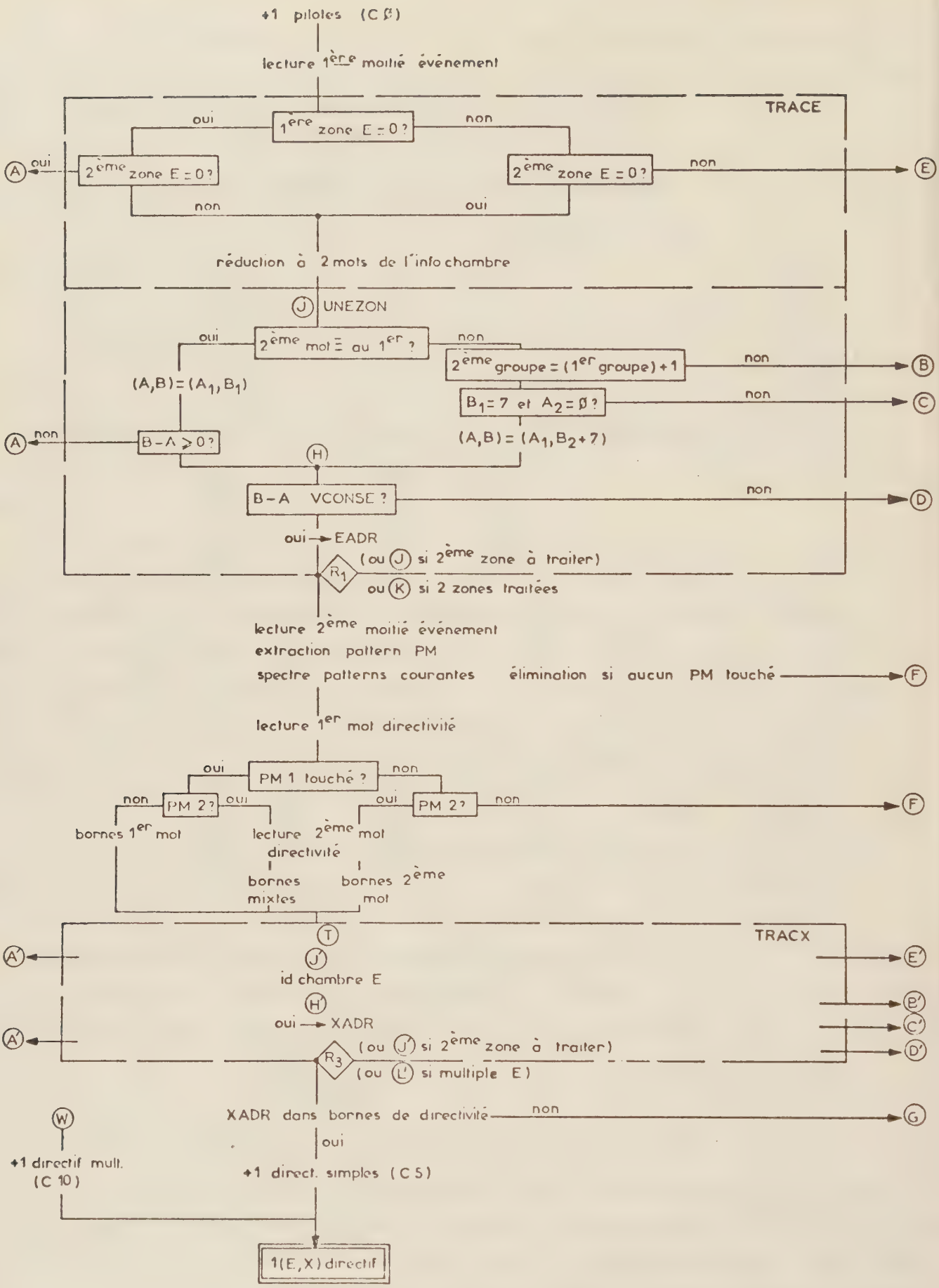
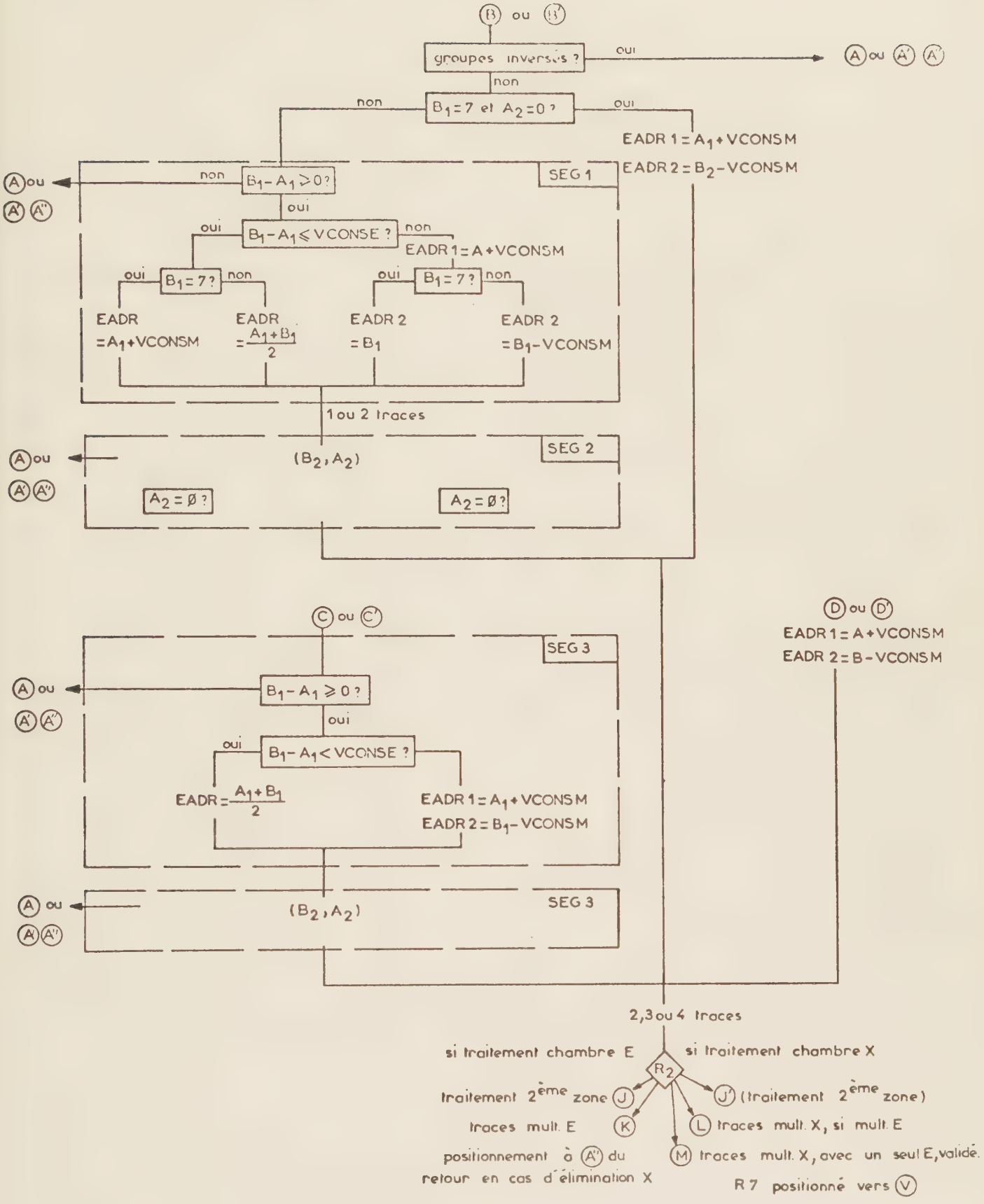
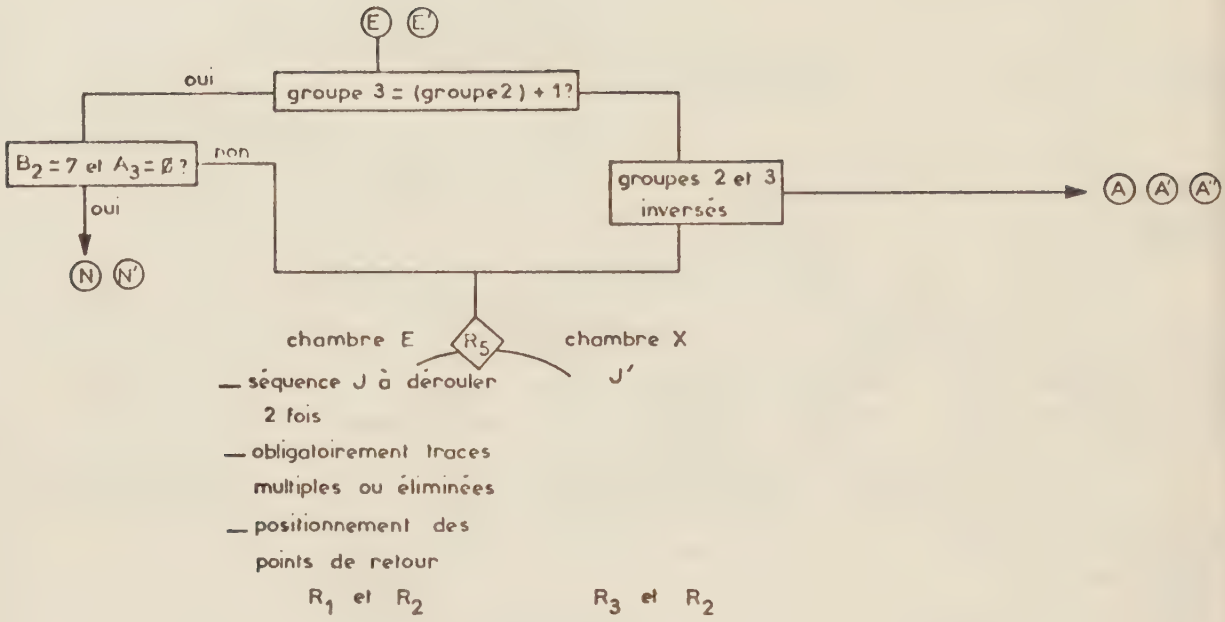
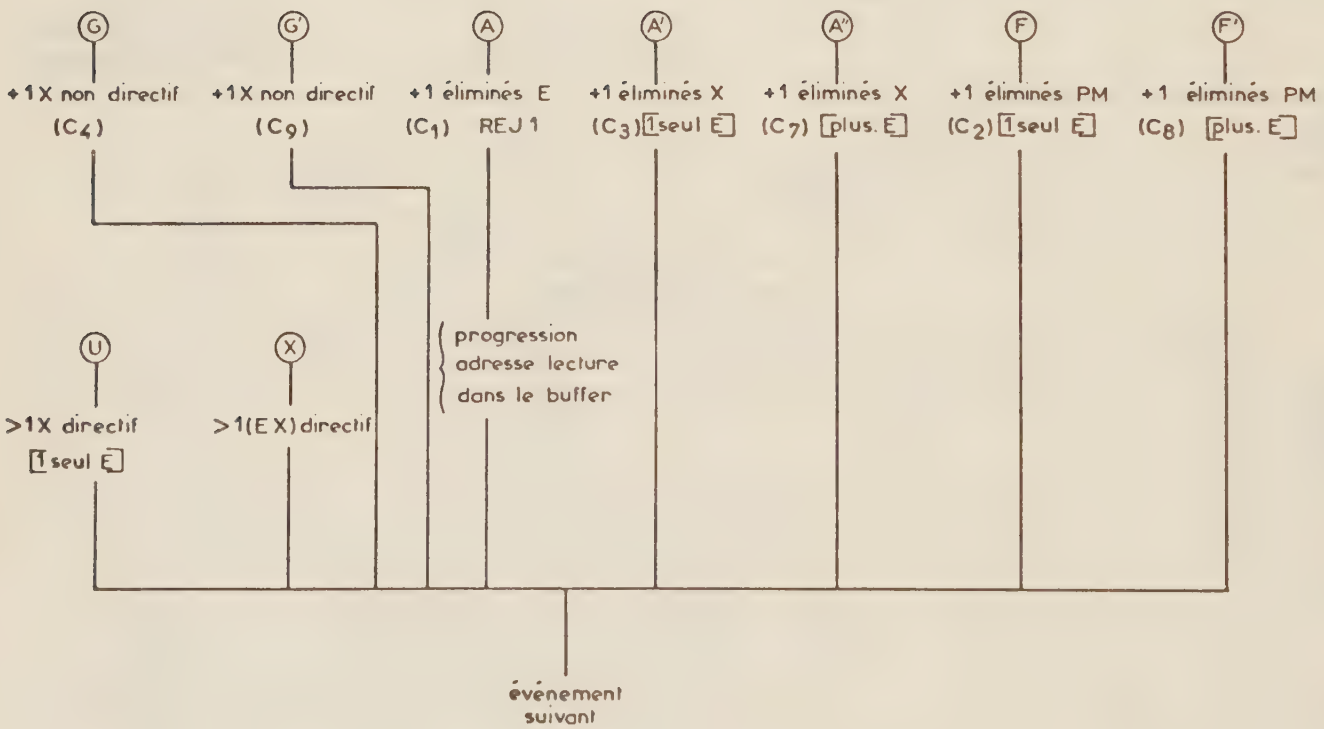


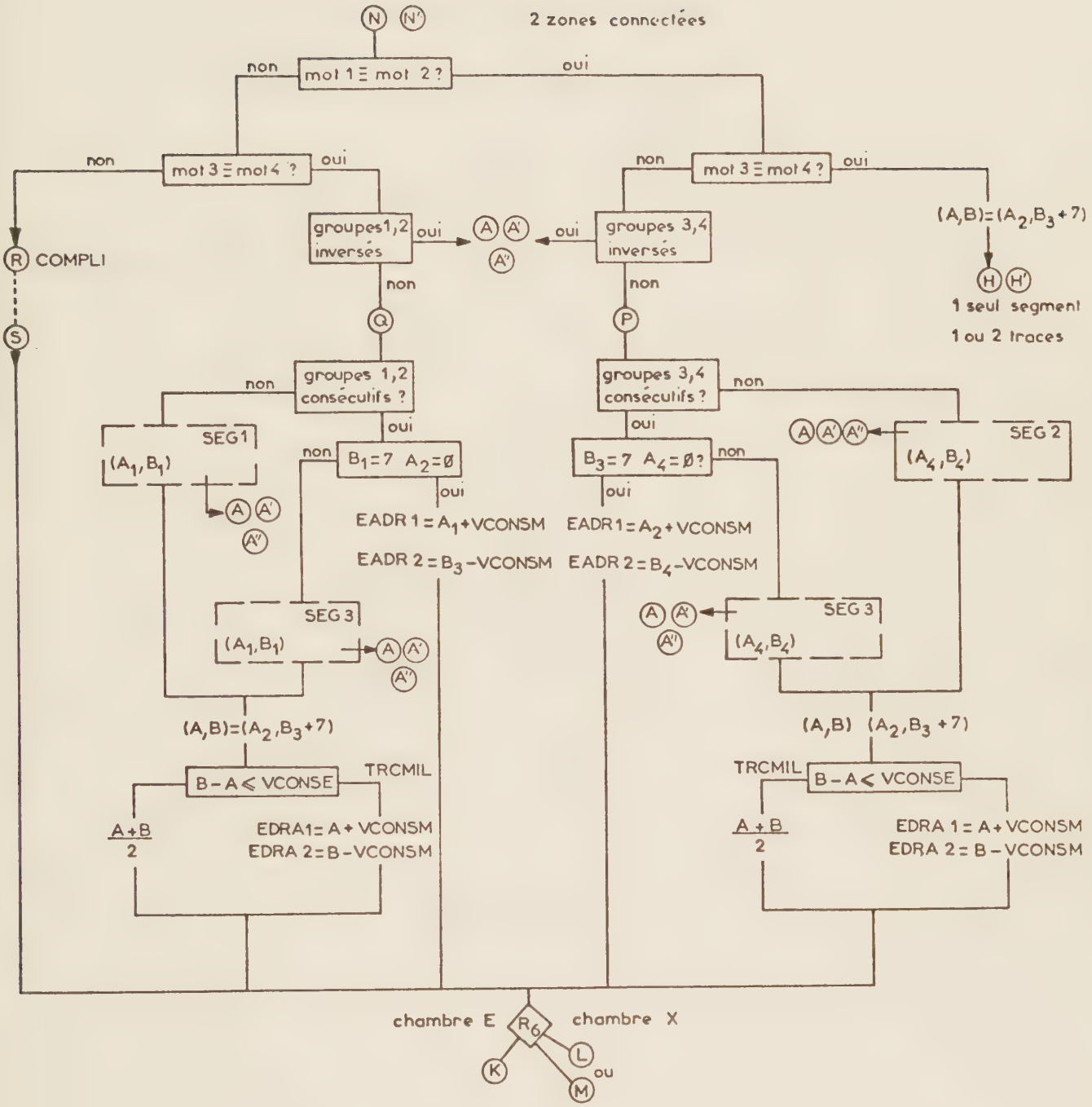
Fig. V.2.3. Implantation des programmes

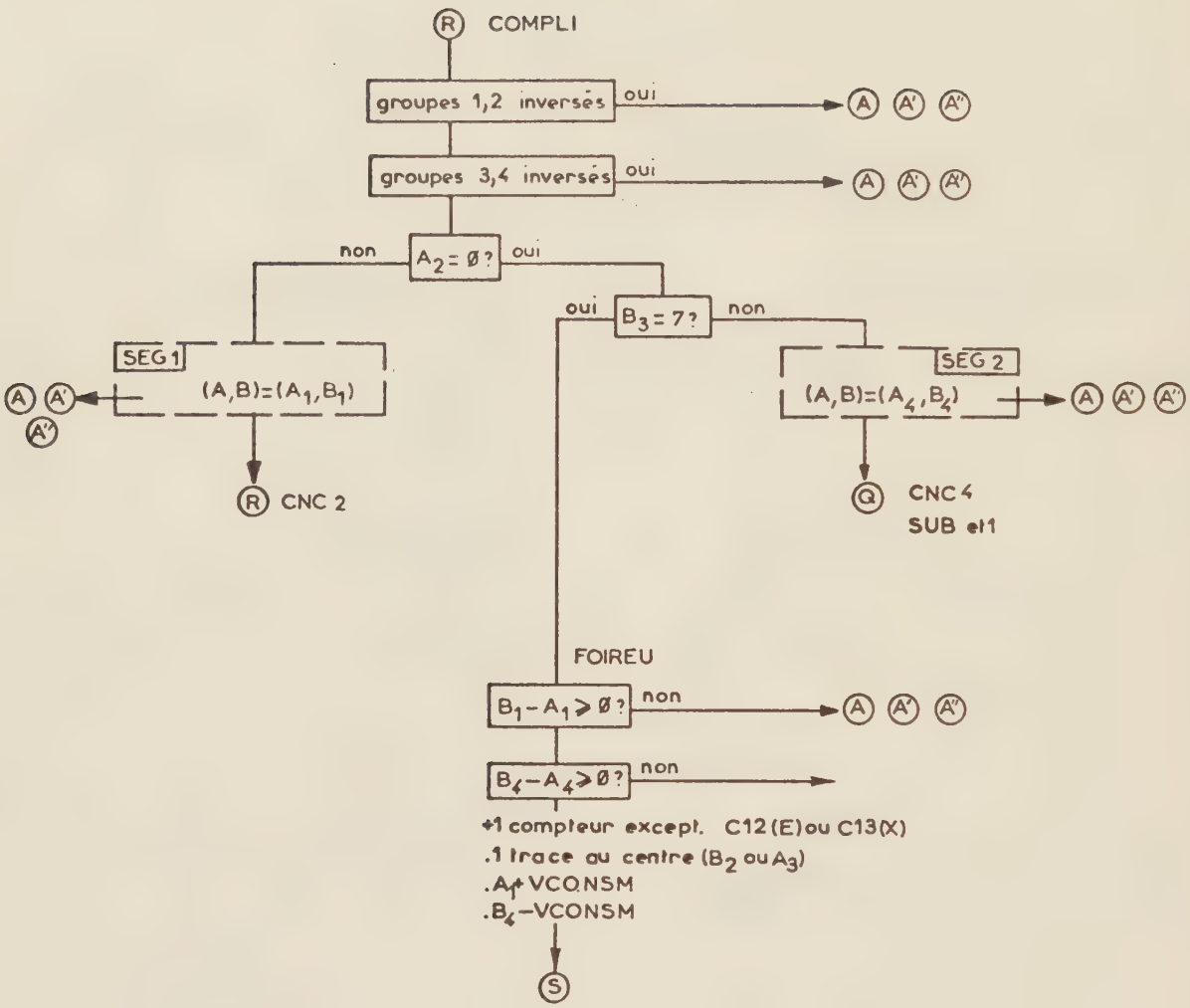

+1 pilotes (C ß)
lecture 1ère moitié événement
TRACE
1ère zone E = 0 ?
oui
non
2ème zone E = 0 ?
A
E
réduction à 2 mots de l'info chambre
J
UNEZON
2ème mot = au 1er ?
2ème groupe = (1er groupe) + 1
B
(A,B) = (A1, B1)
B1 = 7 et A2 = ß ?
C
(A,B) = (A1, B2+7)
B - A ≥ 0 ?
H
B - A VCONSE ?
D
EADR
R1
(ou J si 2ème zone à traiter)
ou K si 2 zones traitées
lecture 2ème moitié événement
extraction pattern PM
spectre patterns courantes
élimination si aucun PM touché
F
lecture 1er mot directivité
PM 1 touché ?
PM 2 ?
bornes 1er mot
lecture 2ème mot directivité
bornes mixtes
bornes 2ème mot
TRACX
T
J'
id chambre E
H'
XADR
R3
(ou J' si 2ème zone à traiter)
(ou L' si multiple E)
E'
B'
C'
D'
A'
W
XADR dans bornes de directivité
G
+1 directif mult. (C 10)
+1 direct. simples (C 5)
1(E,X) directif

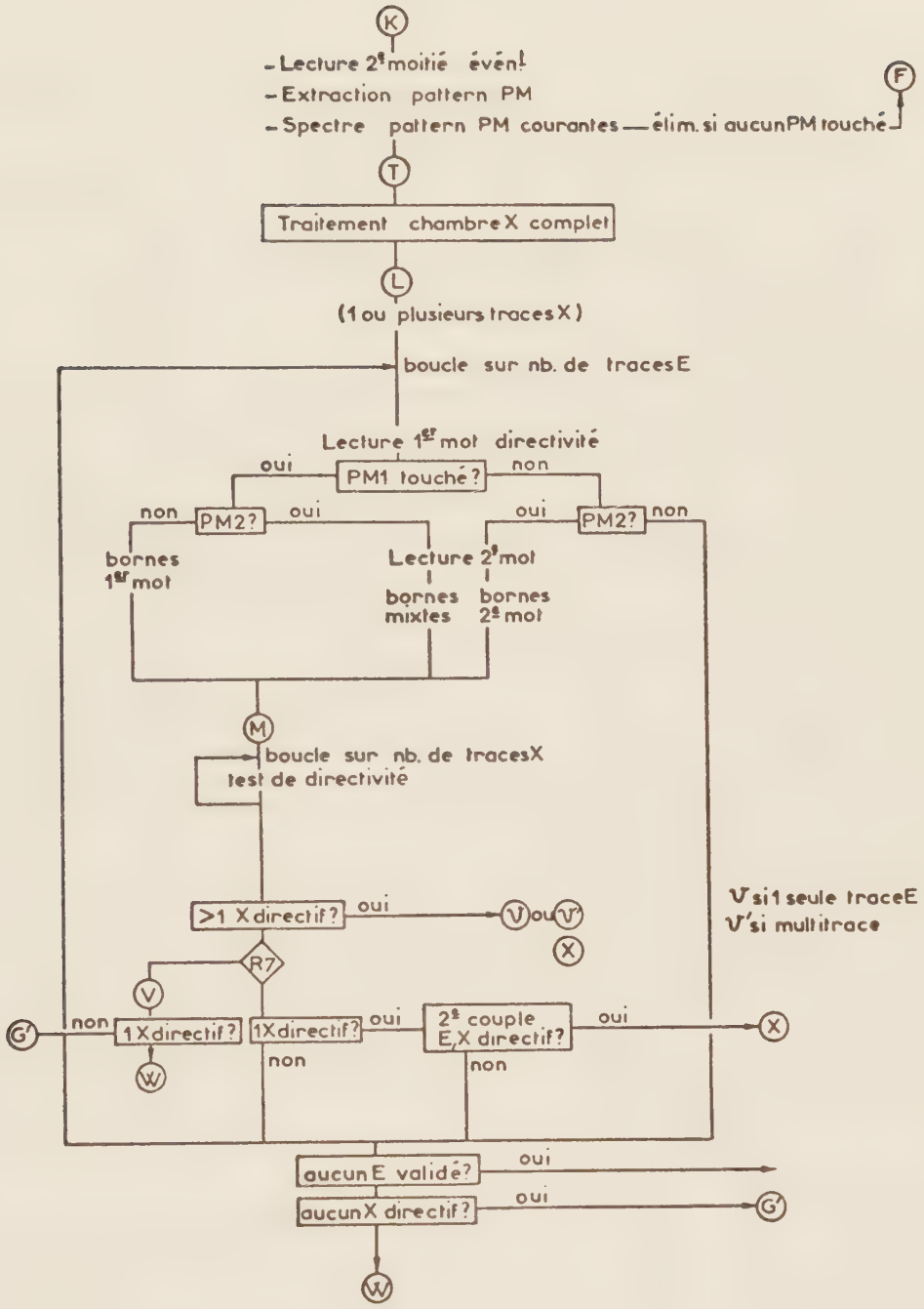

B ou B'
groupes inversés ?
oui
A ou A' A''
non
B1=7 et A2=0 ?
oui
EADR 1 = A1 + VCONSM
EADR 2 = B2 - VCONSM
non
B1 - A1 ≥ 0 ?
SEG 1
A ou A' A''
oui
B1 - A1 ≤ VCONSE ?
non
EADR 1 = A + VCONSM
oui
B1 = 7 ?
non
oui
B1 = 7 ?
non
EADR = A1 + VCONSM
EADR = (A1 + B1)/2
EADR 2 = B1
EADR 2 = B1 - VCONSM
1 ou 2 traces
SEG 2
A ou A' A''
(B2, A2)
A2 = Ø ?
A2 = Ø ?
C ou C'
SEG 3
A ou A' A''
B1 - A1 ≥ 0 ?
oui
oui
B1 - A1 < VCONSE ?
EADR = (A1 + B1)/2
EADR 1 = A1 + VCONSM
EADR 2 = B1 - VCONSM
A ou A' A''
(B2, A2)
SEG 3
D ou D'
EADR 1 = A + VCONSM
EADR 2 = B - VCONSM
2, 3 ou 4 traces
si traitement chambre E
si traitement chambre X
R2
traitement 2ème zone J
J' (traitement 2ème zone)
traces mult. E
K
L traces mult. X, si mult. E
positionnement à A' du retour en cas d'élimination X
M traces mult. X, avec un seul E, validé.
R 7 positionné vers V

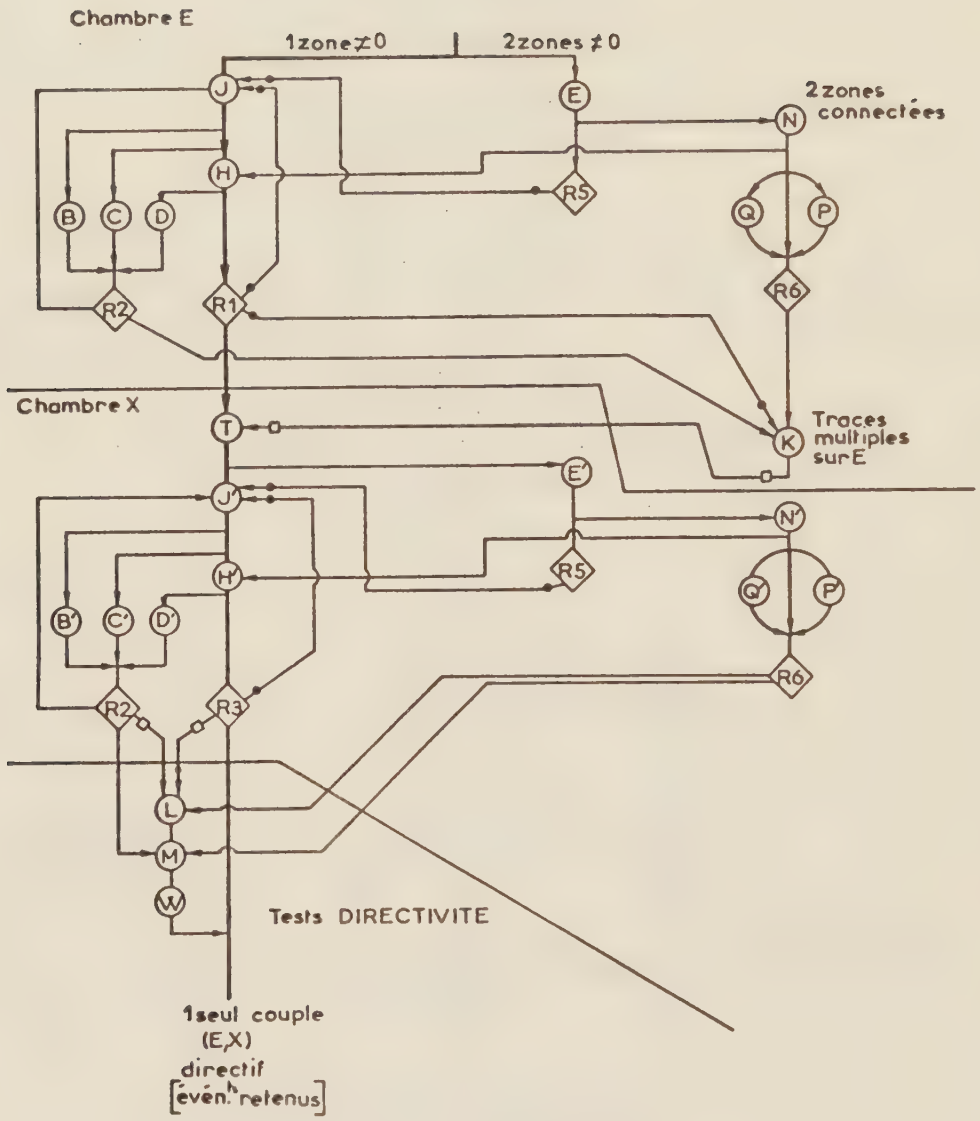

E E'
groupe 3 = (groupe2) + 1?
oui
$B_2 = 7$ et $A_3 = \emptyset$?
non
oui
N N'
groupes 2 et 3 inversés
A A' A''
chambre E
R_5
chambre X
J'
— séquence J à dérouler 2 fois
— obligatoirement traces multiples ou éliminées
— positionnement des points de retour
R_1 et R_2
R_3 et R_2


G
+1X non directif
(C_4)
G'
+1X non directif
(C_9)
A
+1 éliminés E
(C_1) REJ 1
A'
+1 éliminés X
(C_3) 1 seul E
A''
+1 éliminés X
(C_7) plus. E
F
+1 éliminés PM
(C_2) 1 seul E
F'
+1 éliminés PM
(C_8) plus. E
U
>1X directif
1 seul E
X
>1(EX) directif
progression adresse lecture dans le buffer
événement suivant


N N'
2 zones connectées
non
mot 1 ≡ mot 2 ?
oui
non
mot 3 ≡ mot 4 ?
oui
non
mot 3 ≡ mot 4 ?
oui
(A,B)=(A2,B3+7)
R COMPLI
groupes1,2 inversés
oui
A A' A''
oui
groupes 3,4 inversés
H H'
1 seul segment
1 ou 2 traces
S
non
Q
non
P
non
groupes 1,2 consécutifs ?
oui
groupes 3,4 consécutifs ?
non
oui
SEG1
(A1,B1)
A A' A''
non
B1=? A2=Ø
oui
B3=? A4=Ø?
non
oui
A A' A''
SEG 2
(A4,B4)
EADR 1 = A1+VCONSM
EADR 2 = B3-VCONSM
EADR1 = A2+VCONSM
EADR2 = B4-VCONSM
SEG 3
(A1,B1)
A A' A''
A A' A''
SEG 3
(A4,B4)
(A,B)=(A2,B3+7)
(A,B) (A2,B3+7)
B-A ≤ VCONSE
TRCMIL
TRCMIL
B-A ≤ VCONSE
A+B / 2
EDRA1= A+VCONSM
EDRA 2=B-VCONSM
A+B / 2
EDRA 1 = A+VCONSM
EDRA 2 = B-VCONSM
chambre E
R6
chambre X
K
L
ou
M


R COMPLI
groupes 1,2 inversés
oui
A A' A''
groupes 3,4 inversés
oui
A A' A''
non
A2 = Ø ?
oui
oui
B3 = 7 ?
non
SEG 1
(A,B)=(A1,B1)
A A' A''
R CNC 2
SEG 2
(A,B)=(A4,B4)
A A' A''
Q CNC 4
SUB el1
FOIREU
B1 - A1 ≥ Ø ?
non
A A' A''
B4 - A4 ≥ Ø ?
non
+1 compteur except. C12 (E) ou C13 (X)
.1 trace au centre (B2 ou A3)
.A1 + VCONSM
.B4 - VCONSM
S


K
- Lecture 2e moitié évén!
- Extraction pattern PM
- Spectre pattern PM courantes
F
élim. si aucun PM touché
T
Traitement chambre X complet
L
(1 ou plusieurs traces X)
boucle sur nb. de traces E
Lecture 1er mot directivité
oui
PM1 touché?
non
non
PM2?
oui
oui
PM2?
non
bornes 1er mot
Lecture 2e mot
bornes mixtes
bornes 2e mot
M
boucle sur nb. de traces X
test de directivité
>1 X directif?
oui
V ou V'
X
V si 1 seule trace E
V' si multitrace
R7
V
G'
non
1 X directif?
W
1 X directif?
oui
2e couple E,X directif?
oui
X
non
non
aucun E validé?
oui
aucun X directif?
oui
G'
W


Chambre E
1zone≠0
2zones ≠0
J
E
2zones connectées
N
H
R5
B
C
D
Q
P
R6
R2
R1
Chambre X
T
Traces multiples surE
K
E'
J'
N'
H'
R5
B'
C'
D'
Q'
P'
R6
R2
R3
L
M
W
Tests DIRECTIVITE
1seul couple (E,X) directif [évent. retenus]

Chapitre VI

QUELQUES ASPECTS DE LA REALISATION DE LA PARTIE ELECTRONIQUE

Le but de ce chapitre est de mettre en évidence les problèmes les plus importants rencontrés lors de la réalisation.

VI.1. LA CHAINE AMPLIFICATEUR, PRECODAGE, MEMORISATION : STRUCTURE ET LIMITATIONS.

VI.1.1. Amplification et précodage.

L'amplification et le précodage ont été rassemblés sur une même carte. La carte comprend 16 voies consécutives constituant ainsi deux groupes. Le schéma de l'amplificateur, du monostable et des codeurs est dessiné pour une voie (Fig. VI.1.1). Aucun signal de commande n'est injecté sur la carte afin d'éviter tout parasitage de type inductif ou capacitif. Un signal de chambre, après amplification, déclenche un monostable. La sortie du monostable est codée selon le principe précédemment décrit. La photographie de la carte est donnée sur la figure VI.1.2.

V.1.1.1. Fonctionnement de l'amplificateur. Les amplificateurs utilisés, SN 7525 ou équivalents, sont des lecteurs de tores. Ils ont été choisis car leur niveau d'intégration - deux amplificateurs par boîtier - était relativement élevé. Leur caractéristique normale d'utilisation apparaît sur la figure VI.1.3 a ; leur utilisation en caractéristique décalée permet de descendre les seuils au niveau de 700 μV bien qu'en opération sur plusieurs centaines de voies un positionnement à 2 mV garantisse une meilleure protection contre les interférences électromagnétiques. Les figures VI.1.3 (b,c) mettent en évidence leur comportement et leur limitation. Trois zones de fonctionnement apparaissent :

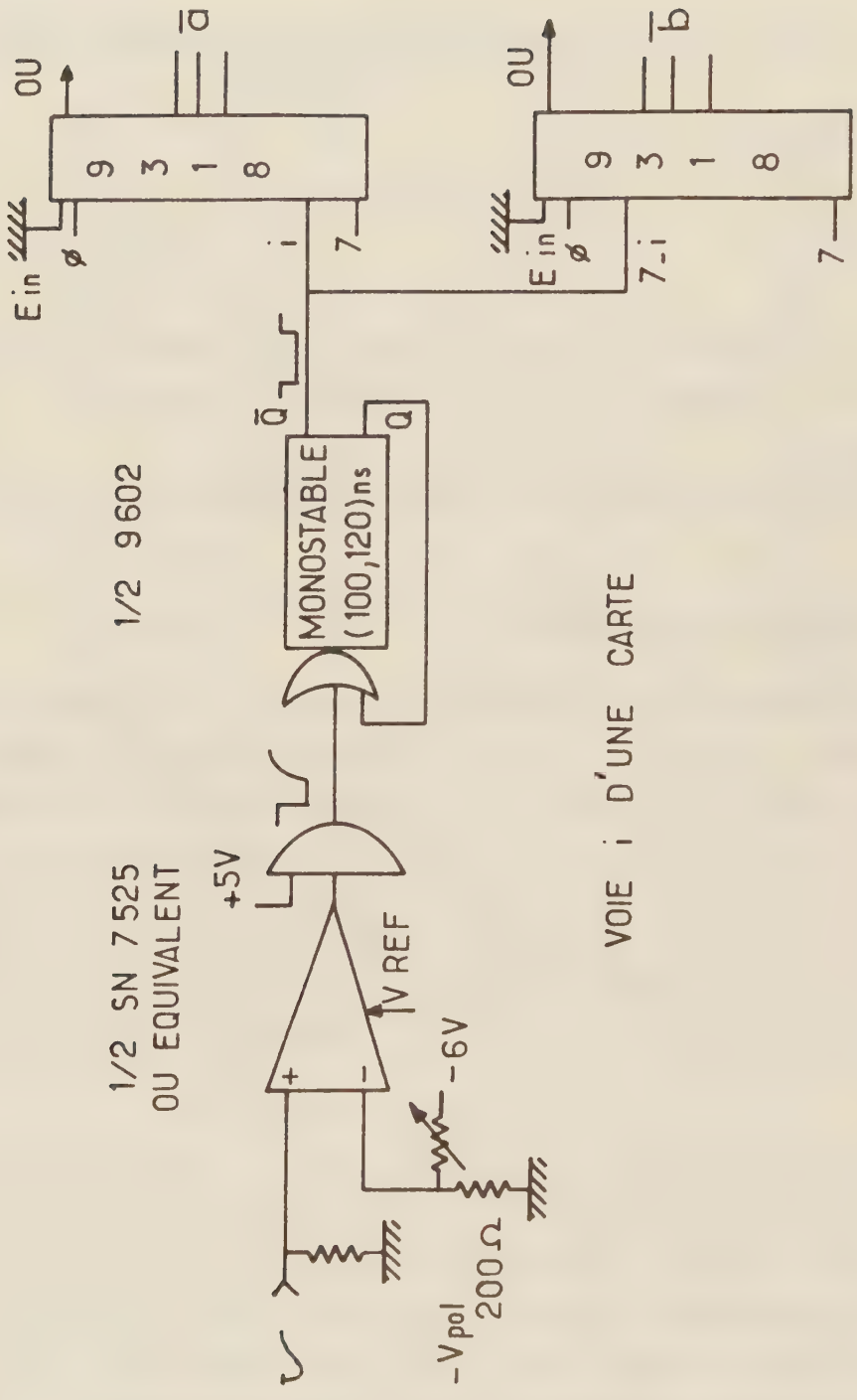

OU
ā
9
3
1
8
E in
ø
i
7
b̄
7.i
1/2 9602
MONOSTABLE
(100,120)ns
Q̄
Q
1/2 SN 7525
OU EQUIVALENT
+5V
V REF
-6V
-Vpol
200 Ω
VOIE i D'UNE CARTE

Fig. VI.1.1.

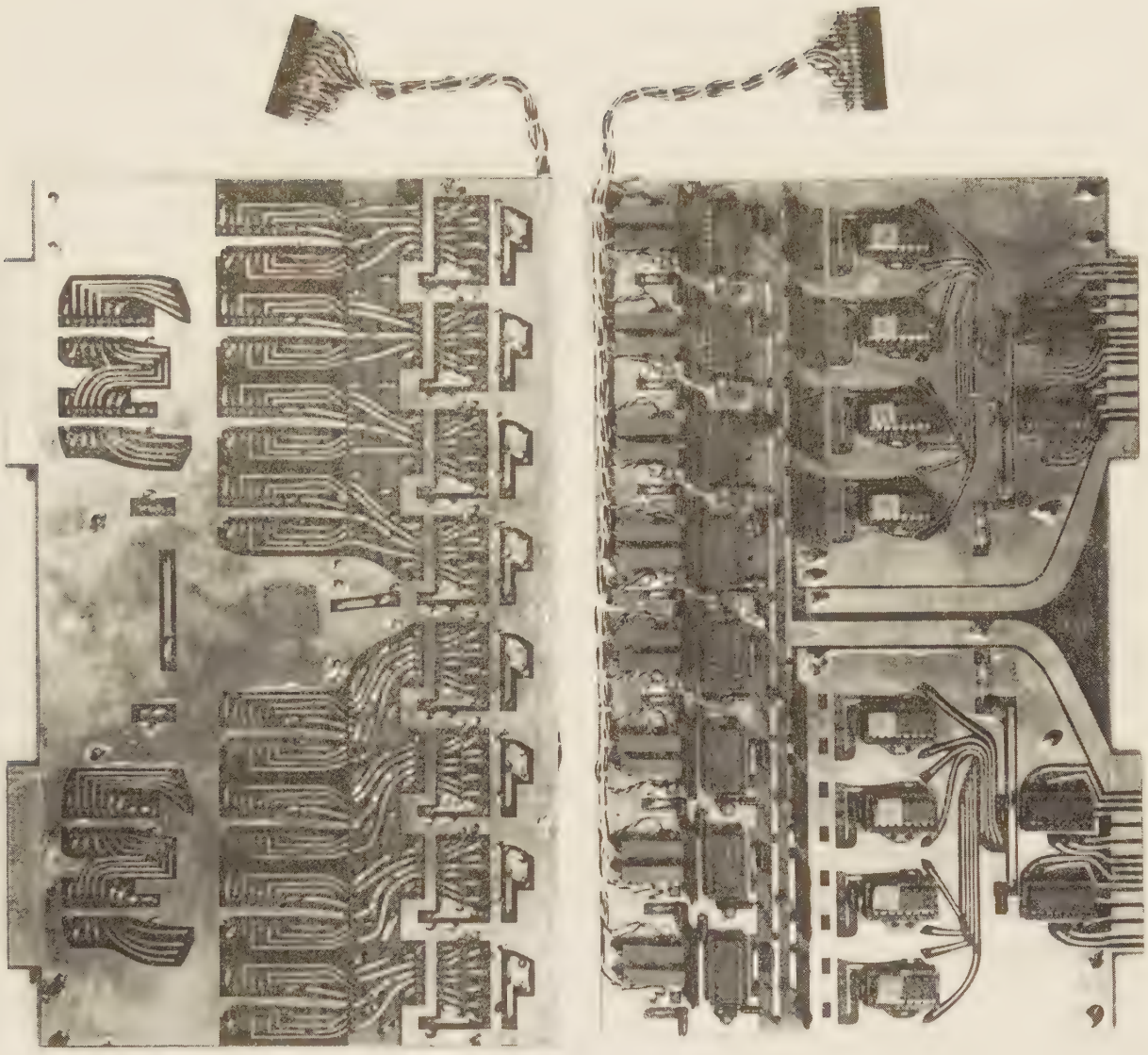


Fig. VI.1.2

Photographies de la carte d'amplification et de précodage

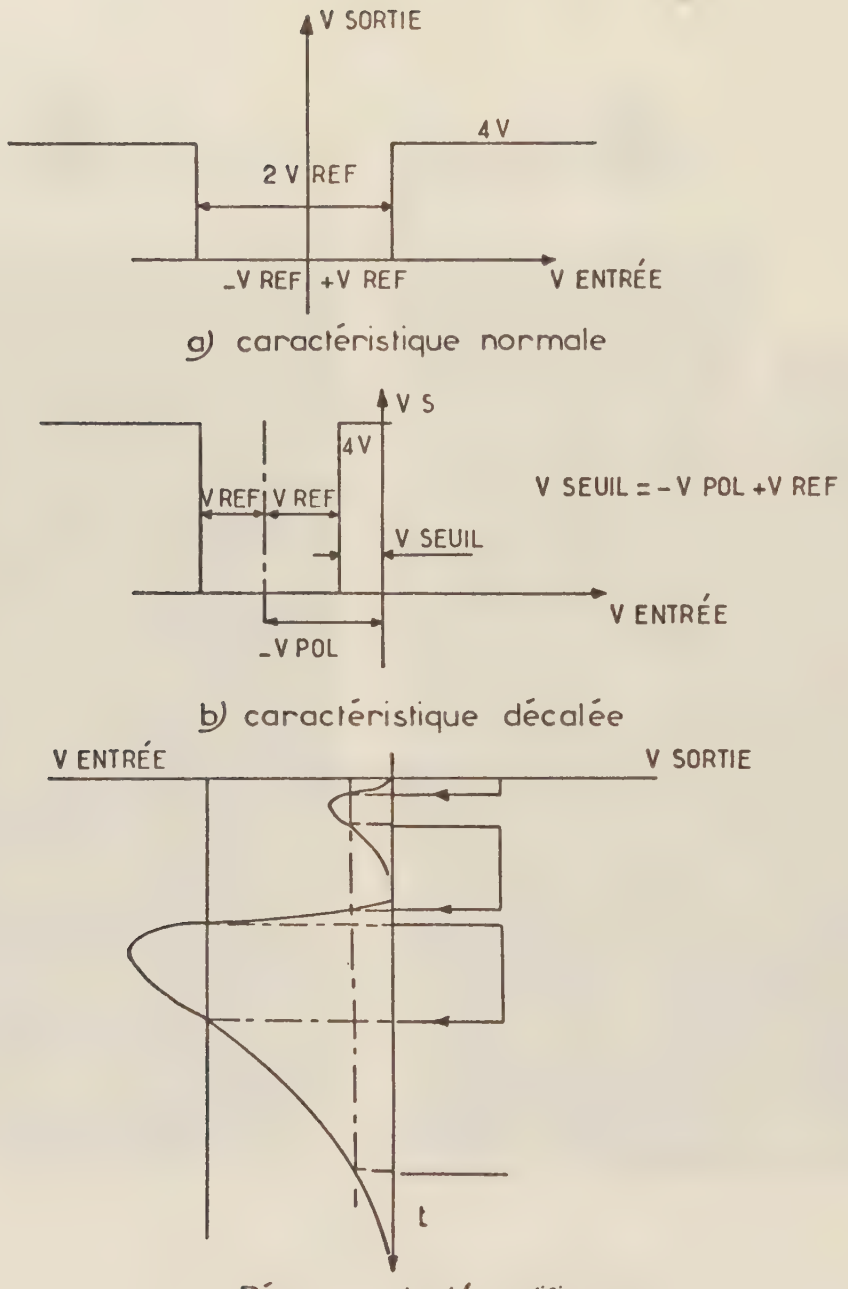


Fig. VI.1.3. Fonctionnement de l'amplificateur

$-V_{pol} + V_{ref} < V_{in}$ pas de déclenchement

$-V_{pol} - V_{ref} < V_{in} < -V_{pol} + V_{ref}$ déclenchement

déclenchement unique

$V_{in} < -V_{pol} - V_{ref}$ déclenchement double

déclenchement retardé

$V_{ref} = 45$ mV

Compte tenu i) de la largeur (100 ns à 120 ns) du monostable non redéclenchable et ii) de la forme d'un spectre d'amplitude pour une voie de détection, la probabilité de déclenchements doubles ou retardés est très faible. Les événements donnant lieu à déclenchement double sont pris en compte mais peuvent perturber un deuxième événement survenant quelques centaines de nanosecondes plus tard. Les voies donnant lieu à un déclenchement retardé sont perdues.

- Diaphonie : Les seuils étant réglés à 3 mV, le signal de test est injecté sur l'amplificateur partageant le même boîtier ; 300 mV sont nécessaires pour créer une diaphonie détectable ; on peut considérer cette probabilité comme nulle.

- Réglage des seuils : Chaque voie dispose d'un potentiomètre de réglage de seuils ; ce potentiomètre a une résolution de 1 mV par rotation. Ces réglages indépendants sont prévus pour affiner l'efficacité des voies lorsque la nécessité apparaît. Cette solution a été préférée à une variation collective des seuils ou de la haute tension chambre car elle n'influe pas sur le temps mort de la chambre.

- Temps de propagation dans l'amplificateur. Ce temps de propagation est en moyenne de 25 ns pour la propagation de l'état 1 vers l'état Ø et de 40 ns dans le sens inverse, ce qui tend à améliorer la possibilité de déclenchement du monostable aux impulsions voisines du seuil. En fonction de l'amplitude incidente, le temps de propagation 1 — Ø varie comme l'indique la figure VI.1.4.

VI.1.1.2. Précodage et mémorisation. Au temps de propagation dans l'amplificateur s'ajoute celui du monostable et des codeurs. La distribution des temps de propagation à travers la chaîne jusqu'à l'entrée du module de mémorisation est une gaussienne centrée autour de 50 ns

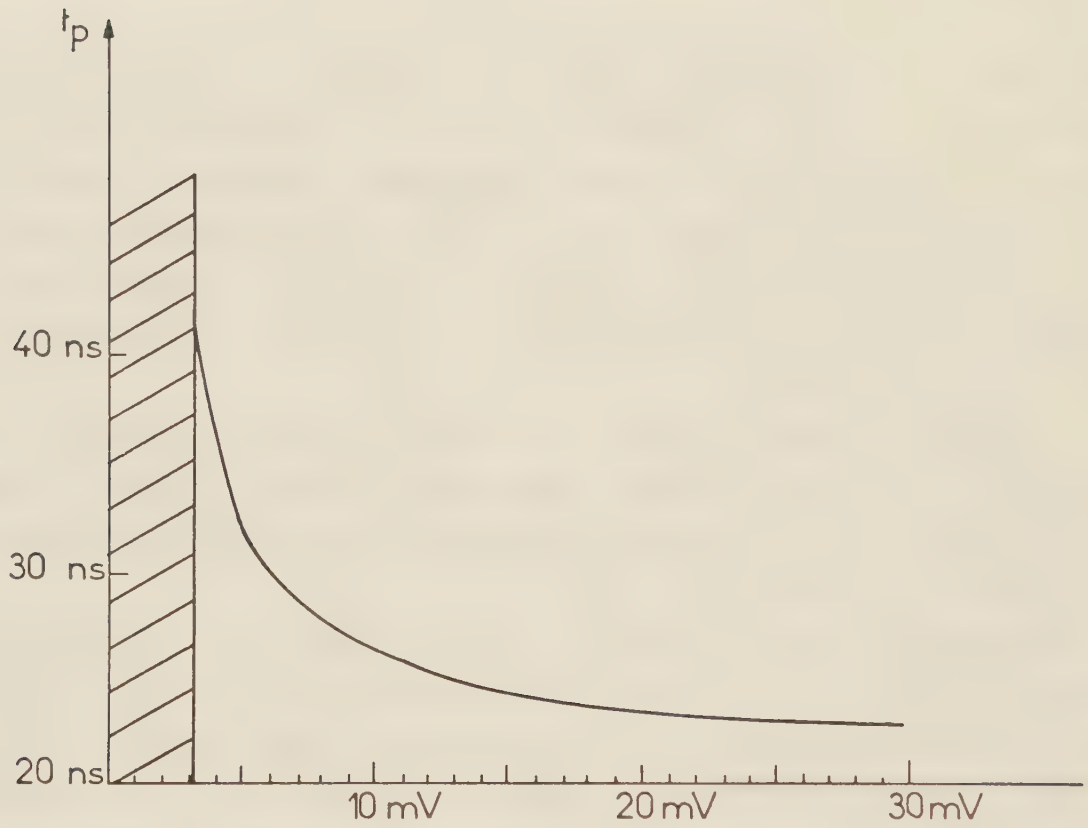


Fig. VI.1.4

Amplificateurs : temps de propagation en fonction du signal incident

et de largeur voisine de 25 ns à 100%. La dispersion en temps voies + chaîne électronique est donc la combinaison des deux dispersions. Ceci légitime le choix d'une longueur de monostable entre 100 ns et 120 ns.

- Monostables. Les monostables ont une dispersion de largeur assimilable à une gaussienne centrée autour de 110 ns (choix du réseau RC) et de largeur à la base inférieure à 20 ns $\left[100 \text{ ns} \leqslant T \text{ monostable} \leqslant 120 \text{ ns}\right]$. Les composants passifs ont été réalisés avec des tolérances de $\pm$ 2% sur le condensateur et la résistance. Une possibilité d'ajustage de la largeur monostable existe ; elle n'a pas encore été utilisée.

- Codeurs et mémoires tampons. Les codeurs utilisés sont des circuits intégrés TTµL 9318. Pour chaque groupe de huit voies deux codeurs sont utilisés pour délivrer les quantités a et b (Cf. Chapitre IV.3). Ces codeurs délivrent également un OU logique de huit voies. Ce OU est utilisé pour le contrôle global chambre + amplificateurs (recherche du plateau). Les mémoires tampons sont constituées de circuits intégrés de 16 mots de 4 bits (P 3101 A ou équivalent), leur temps d'écriture est voisin de 50 ns. Elles n'ont pas été localisées sur les cartes amplificateurs afin d'éviter tout déclenchement des amplificateurs par l'impulsion d'écriture ou les lignes de commande d'adresse. La figure VI.1.5 a donne le schéma pour 16 voies (module). La figure VI.1.5 b présente une vue de l'électronique d'amplification précodage et mémorisation de la chambre E "600".

- Contrôle du fonctionnement chambre + amplificateur. Les sorties OU logiques des codeurs (8 voies consécutives) sont multiplexées et transmises, pour chaque chambre, à la salle d'acquisition. On dispose ainsi des comptages divisés par 16 de chaque chambre. La division par un nombre assez grand est nécessaire pour éviter, lors des comptages instantanés très importants, de ne "voir" que la forme du faisceau.

Les comptages peuvent être exploités :

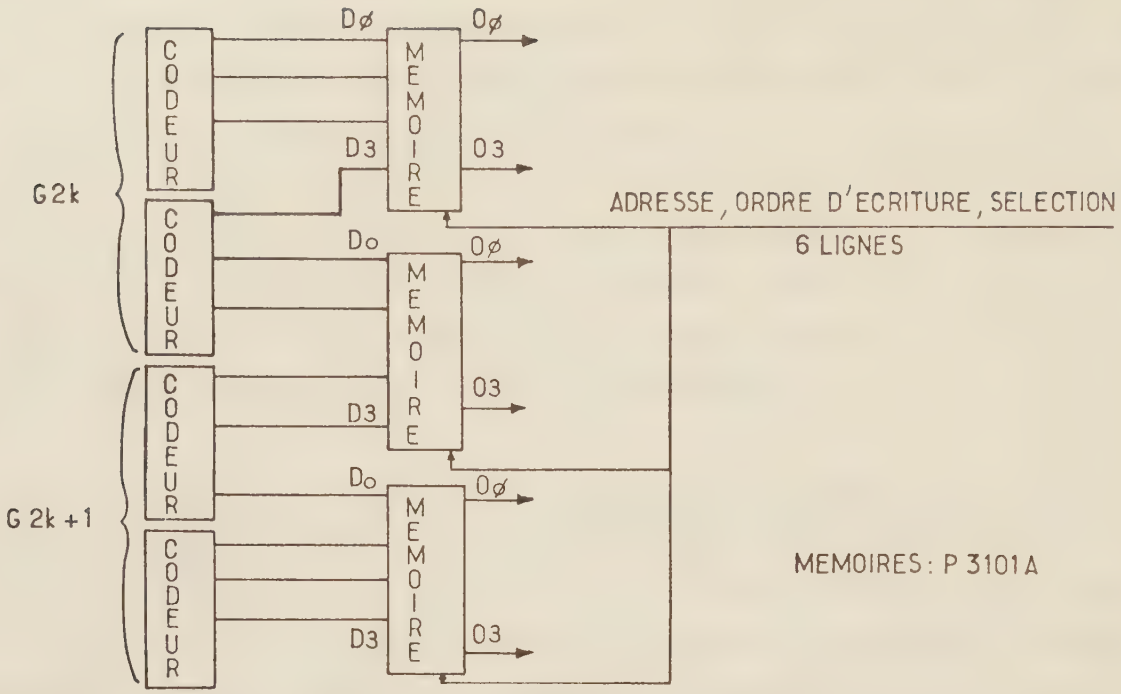
. pour contrôler le fonctionnement global de la chambre et des amplificateurs,

. pour tracer un plateau de chambre,

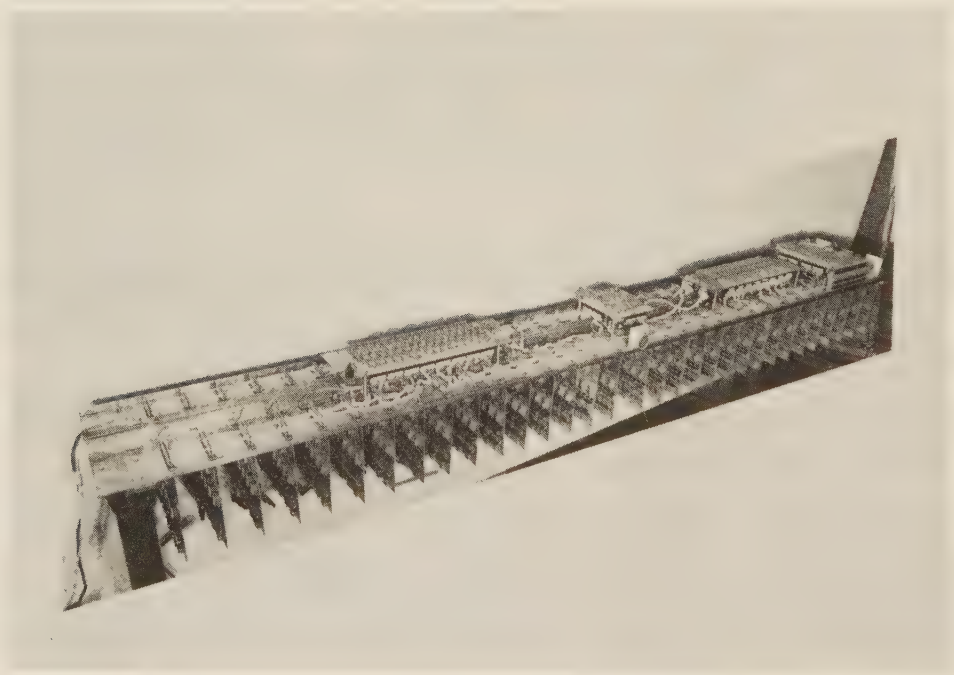
. pour mesurer le bruit d'une chambre,

. pour détecter la présence d'incidents.

Une visualisation par photodiodes permet en casemate de contrôler le fonctionnement des groupes.



a) précodage et mémorisation



b) cartes amplifcateurs et modules mémoires

Fig. VI.1.5

VI.1.2. Problèmes d'échantillonnage en mémoire tampon.

Ils constituent le seul réglage réel du système au niveau électronique.

VI.1.2.1. Cas des chambres. Si l'on considère le schéma de la figure VI.1.6 a, soit t_ϕ le temps de passage de la particule, soit t_2 la distribution des instants de disparition de l'information issue des chambres, Cette distribution inclut le jitter des fils, les dispersions dans la chaîne électronique y compris celle des temps de présence nécessaires au bon fonctionnement des cellules de la mémoire tampon. Le marqueur temps doit échantillonner l'information avant qu'elle ne disparaisse. Le problème est compliqué par l'existence d'une distribution des instants d'apparition centrée sur t_1 . t_2-t_1 est égal à la largeur moyenne des monostables. Il faut échantillonner après l'apparition de l'information la plus tardive.

Le marqueur temps étant généré par les photomultiplicateurs et subissant un certain nombre d'opérations, la plage utile à partir de t_3, temps minimal d'apparition du marqueur temps, est assez courte mais suffisante (> 30 ns).

Distorsions :

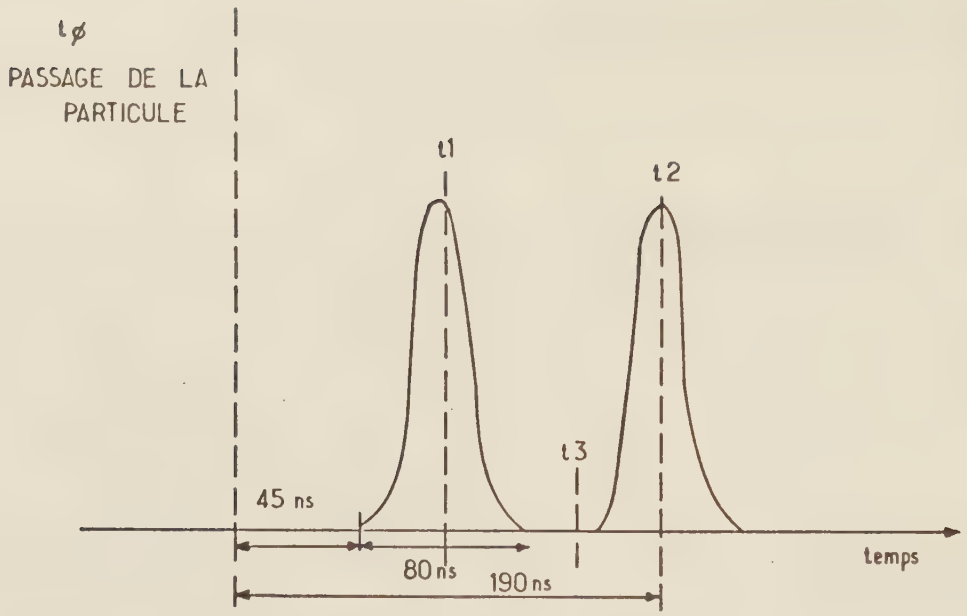
a) Si le marqueur temps est mal réglé (à l'intérieur de la gaussienne centrée sur t_2) :

. on perd en efficacité,

. le taux de marquage a > b (défectueux) augmente ; en effet, on échantillonne les informations alors qu'elles se positionnent, ou les mémoires n'ont pas le temps de les prendre en compte (temps de prépositionnement insuffisant.

b) Si un événement fortuit se présente avec une mauvaise phase à l'échantillonnage, il peut également générer les distorsions du type a > b.

Les taux de distorsions comprennent donc un fond continu lié au comptage et des points plus spécifiques lors de mauvais échantillonnages ou de voies défectueuses (monostable trop court). La figure VI.1.6 b présente un listing de relevés des "groupes négatifs" a > b réalisé lors d'un test sous faisceau.



a/ réglage de l'échantillonnage

N° du groupe : 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19

Nombre d'informations négatives : 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 6 1 1 4 1 0 4 164 4 1

Distribution contenus négatifs

-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1
0	3	3	163	1	4	13

Comptage des voies du groupe 17

0	1	2	3	4	5	6	7
152	139	121	187	2	166	148	151

La voie 4 fonctionne mal. Son comptage est partiellement reporté sur 3 et 5.

b/ utilisation des témoins "groupes négatifs"

Fig. VI.1.6. Echantillonnage en mémoire tampon.

VI.1.2.2. Niveau photomultiplicateurs. L'échantillonnage de la configuration ($R_{\emptyset}$ ... R_7) dans la mémoire tampon ne pose pas de problèmes réels. Des configurations $R_{\emptyset}$ ... R_7 pourront être relevées nulles dans le cas d'un événement fortuit entre R et Y présentant une mauvaise phase à l'échantillonnage (bords du plateau de coïncidence).

VI.2. PROBLEMES GENERAUX DE SPECIFICATION.

VI.2.1. Au niveau des circuits intégrés.

VI.2.1.1. Test fonctionnel et paramétrique des monostables et codeurs. Les monostables et les codeurs ont été testés à 100% ; les distributions de temps de propagation ont été mesurées pour ces deux circuits [29]. Compte tenu du grand nombre d'éléments, un ensemble spécial de mesures, connecté à un PDP 8, a été réalisé. Les mesures ont été traitées et enregistrées sur bande magnétique. Les rejets ont été effectués pour les composants hors normes.

VI.2.1.2. Amplificateurs et circuits hybrides à composants passifs. Ils n'ont pas été testés à réception ; les taux d'éléments défectueux étaient de l'ordre de 1 à 2% pour les amplificateurs et les circuits hybrides au niveau du test des cartes amplificateurs.

VI.2.2. Au niveau d'ensembles fonctionnels.

VI.2.2.1. Cartes amplificateurs. 10% des cartes étaient bonnes et ne nécessitaient aucune intervention. 90% des cartes présentaient au moins un défaut correspondant à l'un des types ci-dessous :

- amplificateurs 1 à 2% des voies
- circuits hybrides type 1 : 5% des voies
- circuits hybrides type 2 : 1% des voies
- condensateurs de découplage : 1% des voies

Il faut signaler également quelques insertions défectueuses de circuits intégrés dans leurs supports.

VI.2.2.2. Module mémoires, codage, transmission. L'interface étant opérationnelle pour chaque spectromètre, les ensembles ont été mis au point par contrôle en ligne avec l'ordinateur. Les quelques dizaines de milliers de connexions, ainsi que les circuits intégrés, ont pu ainsi être vérifiés par simple lecture de listings. L'opération consistant à

simuler le déclenchement d'une voie et à vérifier son acquisition sur un marqueur temps simulé, l'ensemble de l'opération de test n'a pas dépassé une vingtaine d'heures par spectromètre, y compris les corrections.

VI.2.3. Systèmes de test :

Plusieurs systèmes de test ont été développés. Ils comprennent des générateurs de simulation, des programmes de contrôle ainsi qu'un ensemble de réglages des seuils.

VI.2.3.1. Test de l'interface. Un générateur spécial simulant un (ou des) événement(s) (configuration fixe) en provenance du "900" du "600", ou des événements en coïncidences, a été développé. Les événements sont modifiables par chargement d'une mémoire morte. Ce générateur est très utilisé également pour la mise au point des programmes.

Un programme d'essai des synchronismes et des transferts de données TESTC-API permet, en association au générateur test, de contrôler le bon fonctionnement de l'interface.

Le programme TEST RMM contrôle le comportement de la mémoire RMM (écriture, lecture).

VI.2.3.2. Test de l'électronique associée aux spectromètres. En association aux programmes TESTC API et TEST RMM, il est possible de contrôler la prise en compte et le transfert d'informations des chambres. Ceci est réalisé par l'implantation de leurres au niveau des cartes amplificateurs et la simulation d'un marqueur temps.

VI.2.3.3. Système de test global. Un tel système est en cours d'évaluation pour une simulation très complète des ensembles liés au spectromètre, l'interface et des programmes. Un tel système devra générer des événements aléatoires afin de vérifier le comportement du programme envers des événements hors normes.

VI.2.3.4. Système de réglage des seuils. Deux ensembles ont été réalisés (un par spectromètre) pour contrôler le positionnement des seuils. Ils sont constitués d'un générateur délivrant une séquence fixe d'amplitudes (2, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 50 mV) ; 16 voies sont réglables en une seule connexion du générateur. Le test s'opère par injection du signal du générateur à l'extrémité non utilisée des fils, ce qui permet de tester la continuité électrique fil-amplificateur. Un système de visualisation élimine toute mesure analogique.

VI.3. CARACTERISTIQUES GENERALES.

VI.3.1. Implantation.

Elle apparaît sur la figure VI.3.1 a pour le "900", et sur la figure VI.3.1 b pour le "600".

L'ensemble électronique associé à chaque spectromètre est situé dans les casemates sur le bâti supportant les chambres. Le choix a été déterminé par les bénéfices importants recueillis au niveau de la connectique.

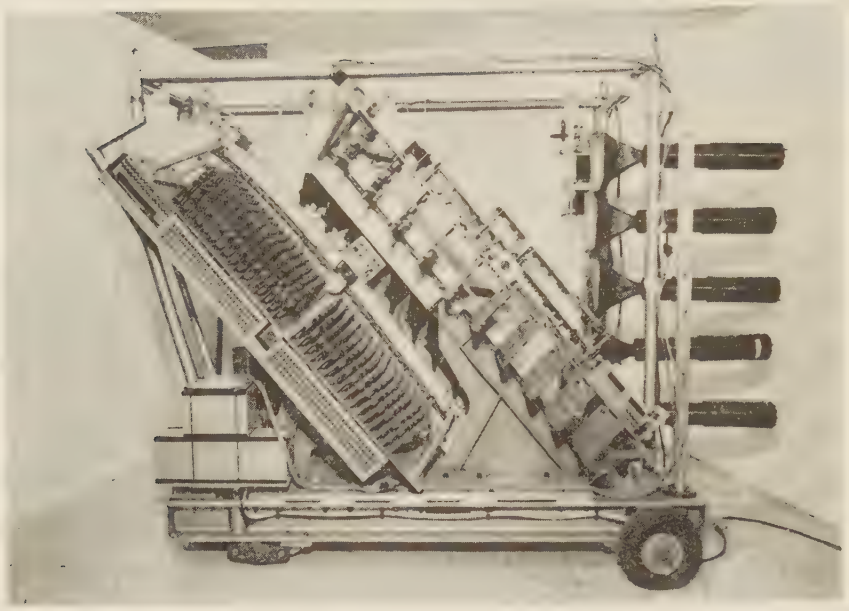
La transmission des informations issues ou allant vers les chambres est opérée par un câble 27 paires pour les informations codées et par un coaxial pour chaque comptage de chambre.

Les informations permettant le réglage et le contrôle des détecteurs rapides circulent sur des câbles coaxiaux.

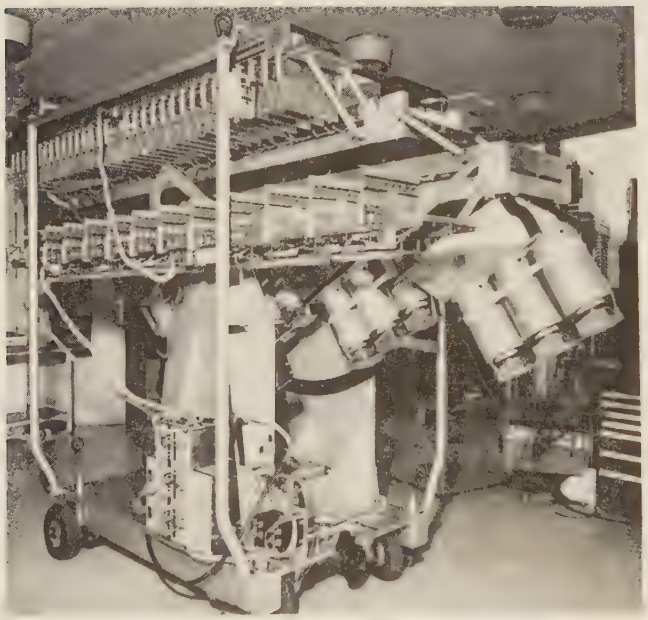
VI.3.2. Puissance consommée.

Sous les tensions de 5 ou 6 V, le courant global est d'environ 50 A par équipement électronique spectromètre, y compris la logique du codage et d'émission. Ceci correspond approximativement à 430 mV par voie. Aucun problème d'échauffement ne semble très critique. Une ventilation forcée existe dans la casemate "900".

L'équipement lié au "600",étant moins compact,est moins sujet à échauffement; une action est entreprise pour le remplacement de composants gros consommateurs de puissance par des composants de technologie plus récente, dissipant moins ; elle devrait conduire à une amélioration importante de la fiabilité.



a)



b)

Fig. VI.3.1.

des dispositifs de détection et l'électronique associée :
en haut le "900"

Chapitre VII

QUELQUES RESULTATS*

VII.1. LE SYSTEME EST OPERATIONNEL.

Fin 1974 le bilan d'opération s'établit comme suit :

	Ensemble spectromètre 900	Ensemble spectromètre 600	Interface
Nombre d'heures sous faisceau	1000 h	280 h	1000 h
Nombre d'heures en test	1000 h	400 h	3000 h
Total	2000 h	680 h	4000 h
Nombre de pannes	ø (hors changement d'amplificateur	ø	2

VII.1.1. Temps nécessaire à la mise en oeuvre.

Le contrôle de bon fonctionnement s'applique uniquement à la vérification des synchronismes, tant des ensembles logiques situés en casemate spectromètre vis-à-vis de l'interface qu'entre cette dernière et le calculateur. La bonne transmission d'une information témoin permet également de vérifier que certaines zones de stockage fonctionnent normalement. Si ce contrôle simplifié donne un résultat positif, l'ensemble du système est réputé opérationnel.

En s'appuyant,d'une part sur les générateurs tests, d'autre part sur les programmes tests, l'ensemble de ces opérations ne dépasse pas deux heures. Un contrôle complet des seuils pour les chambres d'un spectromètre nécessite environ cinq heures. La méthode consiste à ne

*Toutes les figures sont reportées en fin de chapitre.

vérifier que ce qui met en cause le fonctionnement de l'ensemble du système et à attendre la première acquisition pour déterminer les voies défectueuses et décider de leur remplacement éventuel. Ceci suppose qu'après chaque séquence expérimentale, les défauts soient répertoriés et compensés.

VII.1.2. Nombre de voies défectueuses.

Les voies défectueuses sont liées : i) à des micro claquages de la chambre, ces claquages entraînant quelquefois la destruction de l'étage d'entrée de l'amplificateur ; ii) à de mauvais réglages des seuils.

Le nombre de voies défectueuses ne dépasse pas 2 à 3 par chambre. Il peut être annulé si une expérience impose cet impératif. Il faut noter qu'une voie défectueuse ne crée pratiquement pas de défaut d'efficacité en raison du mode de codage utilisé qui transfère le comptage sur une voie adjacente (Fig. VII.3.2). L'inefficacité introduite par une voie défectueuse est de l'ordre de 10% du comptage de cette voie (distribution des largeurs de clusters) pour la chambre E"900"). Seules les voies défectueuses groupées constituent une véritable limitation.

VII.1.3. Pannes.

Les deux pannes sont survenues dans l'interface c'est-à-dire dans le module ayant cumulé le plus grand nombre d'heures d'opération. Bien qu'il soit difficile d'opérer un calcul de MTBF sur ces données, on peut estimer que, si le taux d'une panne par 2000 heures devait se confirmer, il serait acceptable.

Les pannes sont dues à des défauts catastrophiques de circuits intégrés. Il n'est pas possible de tirer des conclusions sur les origines de ces défauts ; on peut cependant remarquer que le module interface subit de fréquentes mises sous tension.

En résumé, l'ensemble de détection HE1 semble avoir une fiabilité acceptable, sa mise en oeuvre est très aisée, les interventions restent limitées.

VII.2. REGLAGES ET PERFORMANCES DE L'ENSEMBLE DE DETECTION.

Le système n'a pas été encore spécifié pour toute la gamme d'utilisation pour lequel il est prévu. La raison essentielle est qu'il n'a pas été encore possible de réaliser des expériences recouvrant la gamme complète. On peut cependant mettre en évidence un certain nombre de résultats :

VII.2.1. Mesure de l'efficacité (pour chaque spectromètre).

Il s'agit de l'efficacité par rapport aux plans R et Y. On se place dans le cas d'un spectre quasi plat (zone quasi élastique), c'est-à-dire le cas d'un comptage distribué quasi uniformément, le bruit de fond étant supposé également uniforme.

VII.2.1.1. Les mesures directes sur les échelles.

1) des marqueurs temps liés à chaque spectromètre ,
2) des comptages en simples (R_i ou Y_i) ,
3) des comptages de chaque chambre,

permettent de déterminer le niveau du bruit de fond par rapport aux événements et de mettre en évidence des distorsions entre la voie comptage échelle et la logique d'acquisition.

VII.2.1.2. Le réglage de la phase d'échantillonnage des détecteurs rapides dans la logique d'acquisition

: on constitue pour cela des plateaux de coïncidence R_i ou Y_i avec le marqueur temps spectromètre correspondant. On arrive ainsi à un taux de configurations non nulles de l'ordre de 99,5%. Les variations de phase des signaux sont obtenues à partir de retards télécommandés.

VII.2.1.3. Réglage de l'échantillonnage des signaux des chambres dans la zone tampon.

On ne peut jouer que sur la phase du marqueur temps, les signaux chambres ayant une phase fixe. L'efficacité est une fonction E = f (HT ; température du mélange, phase marqueur temps) ; la température du mélange est en général maintenue constante ; il faut donc chercher l'optimum en haute tension et en phase marqueur temps. On règle d'abord la chambre E puisque le traitement des données de la chambre X n'est effectué qu'après celui de la chambre E.

Les phases marqueur temps pour E et pour X sont identiques en raison de l'identité de structure de l'électronique d'amplification.

. On se place à un niveau de haute tension chambre dont on sait qu'il assure une efficacité voisine de 1. On peut, pour, cela utiliser le OU logique des signaux de chambres et tracer le plateau en fonction de la HT.

. On trace la courbe de coïncidence globale (pour toute la chambre) des signaux chambre E et du marqueur temps ainsi que celle des "groupes négatifs" (origine du paquet > extrémité du paquet). Cette dernière courbe traduit en effet un échantillonnage marginal trop tardif. Lorsque l'optimum est atteint sur E,on réitère l'opération sur X.

Les deux courbes apparaissent figure VII.2.1.

L'efficacité globale E et X avoisine 95% ; le taux de groupes négatifs est voisin de 0,5% par chambre. L'analyse des différents compteurs permet de reconstituer les origines de l'inefficacité

- groupes négatifs ($\simeq$ 1% par spectromètre),
- défaut d'efficacité chambre,
- voies défectueuses,
- inefficacité d'ordre géométrique,
- fortuites R.Y,
- rejets liés au type de traitement,
- bornes de directivité,
- temps mort.

L'importance relative de ces composantes dépend des conditions expérimentales. La plage d'utilisation du marqueur temps est voisine de 30 ns, ce qui est assez confortable ; elle peut être améliorée par une conception différente de l'électronique rapide et en modifiant la disposition des tiroirs rapides dans la casemate. L'élargissement de la plage de réglage en phase permettrait alors de diminuer la largeur des monostables donc le taux de fortuits chambres.

L'étude de l'efficacité permet d'obtenir des résultats concernant : i) la distribution des largeurs de clusters ; ii) l'efficacité propre à chaque voie de détection. Les figures VII.2.2 a, b, c, d, donnent la distribution des largeurs et clusters pour les chambres E "900", X "900", E "600", X "600". Les figures VII.3.2 a, b, c, d, donnent des spectres relevés sur les chambres E "900", X "900", E "600, E "600", X "600".

Remarques :

1. La chambre E "600" utilisée ne couvrait pas tout le plan, d'où la forme du spectre ;

2. L'essai sur le spectromètre "600" n'utilisant que le mode spécial (demi chambres), d'où la forme du spectre X "600" ;

3. Les distributions de largeurs de clusters font apparaître des points pour des valeurs élevées correspondant à des événements multiples ;

4. La distribution des comptages par voie sur les chambres X est toujours meilleure que sur les chambres E ceci est dû : i) à la statistique plus élevée ; ii) à l'addition des signaux analogiques sur les fils constituant une voie X, addition qui peut légèrement améliorer l'efficacité ;

5. Compte tenu des fluctuations statistiques, on peut constater que les voies de détection (fils + amplificateurs) sont relativement peu dispersées.

6. On remarquera les voies défectueuses ainsi que le comptage reporté sur la voie adjacente.

VII.3. QUELQUES RESULTATS D'EXPERIENCES.

Plusieurs séquences expérimentales de diffusion élastique (e,e') ont eu lieu depuis la mise en opération de l'ensemble associé au spectromètre "900". Ces expériences ont permis l'étude partielle du nickel, des chromes, du samarium. Une expérience (e,e'p) préliminaire, destinée à la "prise en main" de l'ensemble de détection "900" et "600", a permis d'éliminer un certain nombre de problèmes tout en permettant une "réponse physique" sur le polyéthylène et sur ^{12}C. Il n'est pas possible d'analyser ici tous les résultats obtenus ; on soulignera les résultats les plus saillants.

VII.3.1. Expériences (e,e').

Elles se sont déroulées avec un programme de test de détecteur ; ce programme est relativement lent en raison des tests multiples effectués sur les événements, il ne traite pas plus de 250 événements/seconde. Elles ont permis de montrer :

VII.3.1.1. Que le système d'acquisition associé au "900" possède une très bonne rejection du bruit lié : i) à l'utilisation du plan X et de la directivité E/X ; ii) à l'utilisation d'un détecteur Čerenkov dans le plan Y. Sans aucune précaution, le système a permis de mesurer des sections efficaces de 10^{-37} cm^2, ce qui représente une amélioration d'un facteur 100 par rapport à des ensembles existant sur d'autres sites. Il semble possible d'améliorer encore ce facteur.

L'effet de purge due à la directivité est visible (Fig. VII.3.1 a) et correspond à la mesure d'une section efficace très faible sur le nickel.

VII.3.1.2. Que la résolution limite du système était approchée sans effort particulier. Une résolution de 4×10^{-4} a pu en effet être obtenue ; cette résolution est environ deux fois moins bonne que la résolution limite. Cependant, il reste à optimiser les conditions de fonctionnement de l'ensemble du système par :

. la recherche des meilleures conditions d'utilisation de la chambre E ;

. l'utilisation des voies intermédiaires ;

. un bon contrôle du système de transport et du faisceau.

La figure VII.3.2 a représente une mesure à bonne résolution.

VII.3.1.3. Que le mode normal de scrutation (utilisation de la configuration R_i) présentait un certain nombre d'avantages malgré le caractère très localisé du comptage et les faibles taux de comptage utilisés.

VII.3.2. Expériences (e,e'p).

La séquence expérimentale a permis :

VII.3.2.1. De démontrer que l'ensemble complet associé aux spectromètres était opérationnel tant du point de vue électronique que du traitement de l'information.

VII.3.2.2. De mesurer l'importance du bruit de fond

. en simples : électrons ou protons

. en coïncidences fortuites.

VII.3.2.3. D'effectuer une première mesure de :

. la largeur du pic CTA (mesure de l'intervalle de temps pour des coïncidences) ;

. la résolution en énergie manquante et en impulsion bien que les conditions de faisceau n'aient pas été très favorables.

Les figures VII.3.3 (a,b) montrent l'effet de recentrage de la mesure de temps après correction des longueurs de trajectoires (^{12}C). La figure VII.3.4 représente un spectre d'énergie manquante sur ^{12}C.

VII.3.2.4. L'utilisation des fonctions externes "facteur de division" s'est révélée particulièrement utile, compte tenu des comptages en simples de l'ordre de deux événements par impulsion faisceau.

VII.4. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES.

VII.4.1. Conclusions.

Il est nécessaire de confronter les résultats obtenus au cahier des charges. Toutes les possibilités de l'ensemble d'acquisition ne sont pas encore exploitées, tant pour les expériences (e,e') que pour les expériences (e,e'p) ; cependant certaines conclusions apparaissent (tableau VII.4.1).

Tableau VII.4.1

	(e,e') spectromètre 900	(e,e'p) deux spectromètres
Taux de comptage	≠ 1,3 evts/impulsion faisceau avec un programme amélioré	pas de problème (utilisation de facteur de division)
Recorrélation des événements	non applicable	opérationnelle
Réjection bruit de fond	très bonne	des améliorations au niveau de l'électronique rapide sont souhaitables
Traitement de l'information	très avancé ; un peu lent	très avancé rapidité suffisante
Résolution	4×10^{-4} nécessité d'améliorer d'un facteur 2	pas de problème majeur
Facilité de mise en oeuvre	oui	oui
Fiabilité	∅ panne pour les premières 2000 heures	données insuffisantes pour le module lié au spectromètre "600"

On peut vérifier que,dans l'ensemble, les données initiales du cahier des charges sont tenues. Seules font exception, pour les expériences (e,e'), le taux de comptage absorbable ainsi que la résolution de l'ensemble de détection.

Vitesse de comptage : Elle est limitée au niveau traitement de l'information et il ne semble guère possible, avec la structure actuelle de l'ordinateur, de progresser dans cette voie. Une modification simple de la structure permettrait probablement de gagner un facteur compris entre 1,3 et 1,6.

Résolution : Elle dépend d'un certain nombre de paramètres

- résolution du spectromètre 900,
- résolution et stabilité du transport de faisceau,
- résolution du détecteur,
- prise et traitement de l'information.

Il semble possible en agissant :

- sur les conditions d'utilisation des chambres,
- sur l'échantillonnage des données en mémoire tampon,
- sur le traitement de l'information,
- sur les taux de comptage (pertes par temps mort),

de ramener la résolution 4×10^{-4} à une valeur voisine de $2{,}8 \times 10^{-4}$ (en supposant que la résolution propre du spectromètre et du transport est de 2×10^{-4}). Il est certain que les conditions propres aux expériences (e,e'), en particulier la dynamique du comptage (très importante sur quelques canaux), la présence d'un bruit de fond (de l'ordre de 10 fois supérieur aux événements) rendent très difficiles les problèmes de résolution.

Exemple: un comptage de 200 événements par seconde, localisé à 60% sur trois voies et en présence d'un bruit de fond de 2000/seconde entraîne :

1. des pertes de comptage à la fois sur la chambre E et sur la chambre X dans la zone correspondant au pic,

2. des distorsions de la mesure liées aux fortuites chambres sur la zone sélectionnée par le détecteur R_i correspondant au pic.

Le point 1 entraîne un élargissement du pic par pertes sur les canaux subissant le comptage le plus élevé. Le point 2 entraîne une dégradation de l'information signalée au chapitre IV et se traduisant par la perte de l'information largeur du cluster.

En conclusion du point VII.4.1.

Les expériences (e,e') à haute résolution ne peuvent, avec le système actuel, s'opérer à taux de comptage élevé en raison des problèmes de pertes de comptage liées au temps mort chambres + amplificateurs ou des fortuites chambres ; ceci implique que la limite de la vitesse du traitement aura peu d'importance pour toute cette classe d'expériences.

VII.4.2. Aspects prospectifs.

L'ensemble du détecteur HE1 évoluera dans le futur pour permettre un accroissement de certaines performances. Il est possible de classer ces améliorations en deux groupes :

VII.4.2.1. Groupe I : amélioration de la mesure.

1) Amélioration de la résolution pour les expériences (e,e'). Elle sera essentiellement obtenue par un changement du détecteur E "900" et de l'électronique associée permettant une résolution de quelques centaines de microns, c'est-à-dire éliminant pratiquement la contribution du détecteur à la résolution globale ; cette modification est relativement lourde d'implantation à tous les niveaux du système.

2) Amélioration de la résolution en impulsion pour les expériences (e,e'p) par l'introduction d'une mesure dans les plans Y pour lesquels 8 bits ont été réservés dans la logique de chaque casemate à cet effet.

3) Amélioration de la réjection des coïncidences fortuites (e,e'p).

Il s'agit d'améliorer la résolution de la mesure en temps , des changements simples dans la structure de l'électronique modulaire rapide permettant un gain de près d'un facteur 2.

VII.4.2.2. Groupe II : amélioration du système de prise et de traitement de l'information.

Amélioration de la fiabilité par utilisation :

- de technologies permettant une intégration plus poussée,
- de technologies consommant moins de puissance,
- de techniques affinées.

Amélioration du traitement de l'information par l'utilisation de fonctions externes élaborées permettant le traitement ultra-rapide des événements à l'extérieur du calculateur d'acquisition et laissant à ce dernier les traitements d'informations intégrées.

Ceci aurait les avantages suivants :

. possibilité d'accroître la capacité de traitement tout en simplifiant la structure des programmes ,

. possibilité d'augmenter la vitesse de traitement ,

. absorption des traitements supplémentaires liés à l'amélioration des résolutions sans réduction de la vitesse de traitement ,

. simplification des programmes de gestion des interruptions ,

. possibilité de test du système sans utilisation du PDP 15.

L'apparition de microprocesseurs très rapides permet d'envisager une telle évolution à très court terme, le caractère programmable de ces fonctions, permettant l'adaptation du système aux différents problèmes.

La liste des évolutions possibles ne se limite pas aux énumérations ci-dessus ; il appartient aux utilisateurs du système de déterminer la hiérarchie à instaurer entre ces divers projets.

L'ensemble de détection et d'acquisition de données liées aux spectromètres "600" et "900" est un outil très sophistiqué ; son utilisation, sous la structure actuelle, en fait un outil particulièrement bien adapté aux expériences de diffusion d'électrons ; son évolution telle, qu'elle a été esquissée, doit permettre de le maintenir au niveau des meilleurs appareillages associés à ce domaine de la recherche en physique nucléaire.

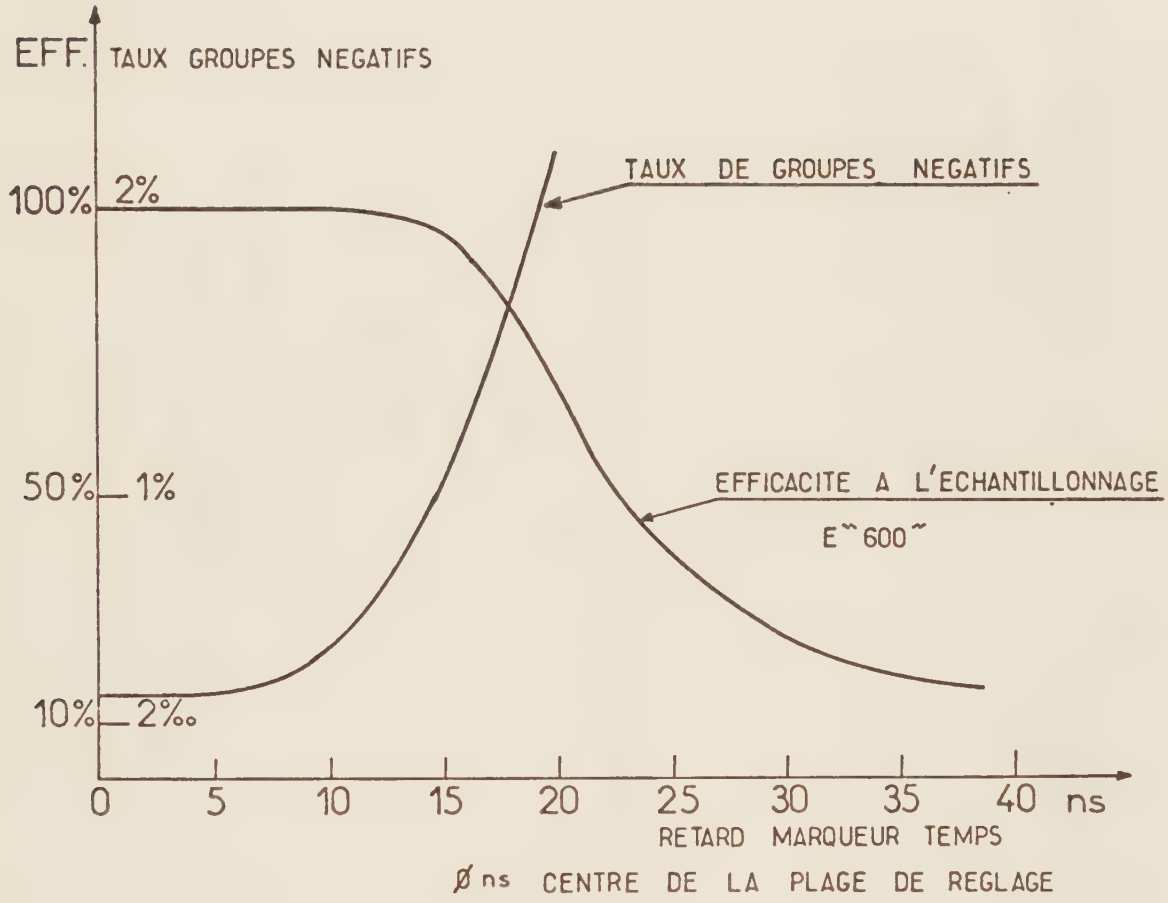


Fig. VII.2.1 - Courbes d'efficacité et de groupes négatifs en fonction de l'échantillonnage.

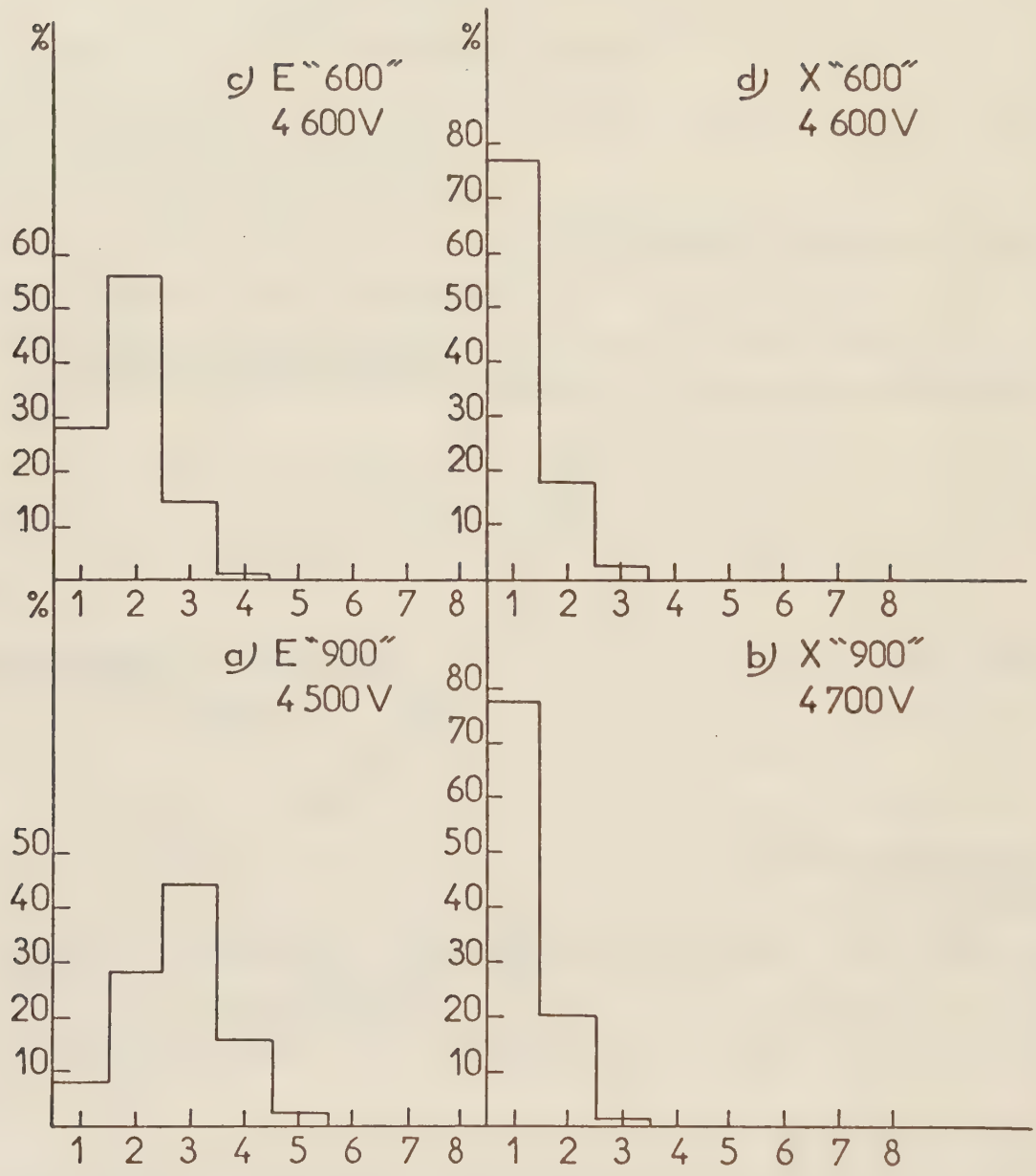


Fig. VII.2.2 (a,b,c,d) - Distribution des clusters sur les quatre chambres.

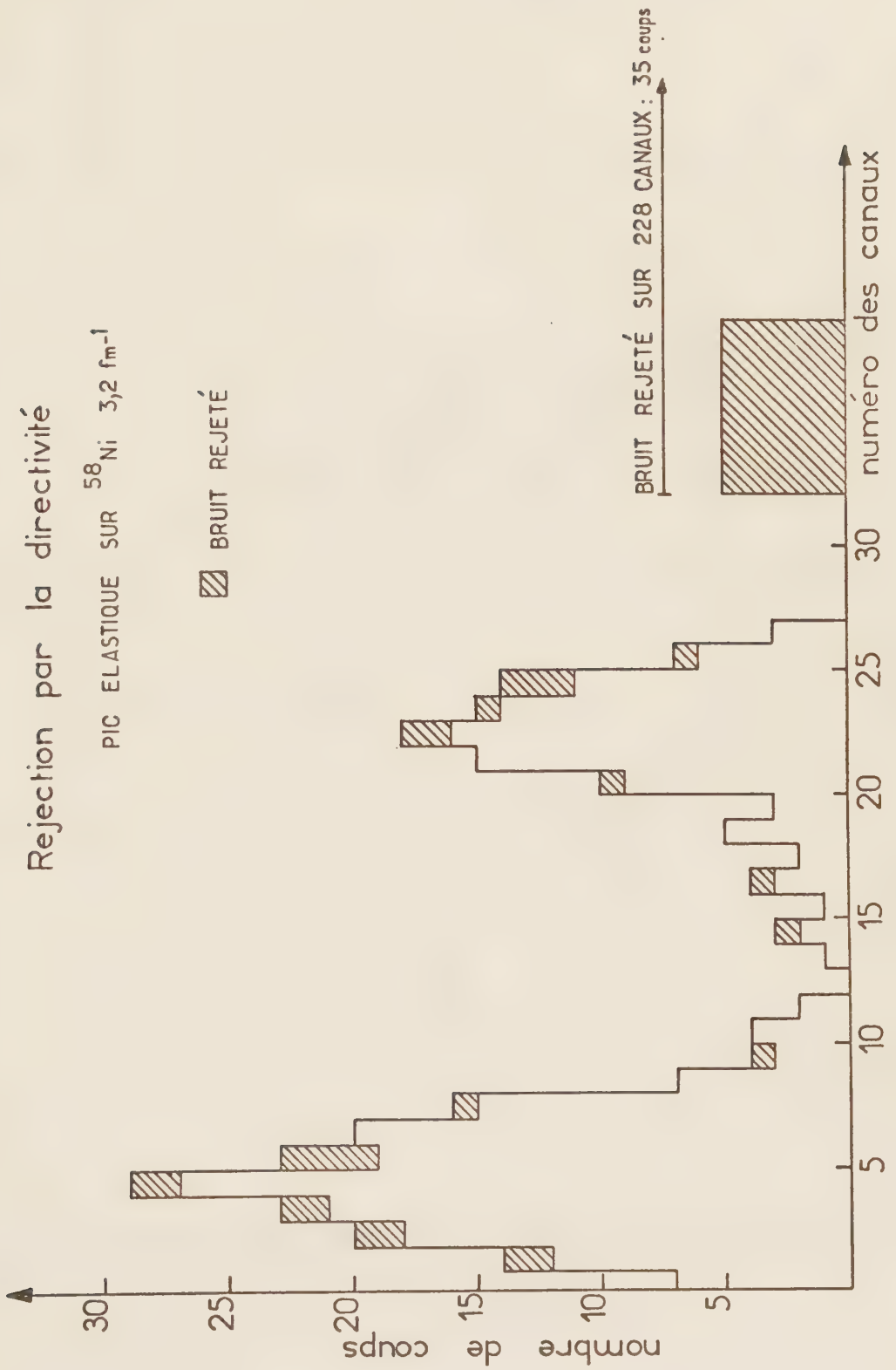
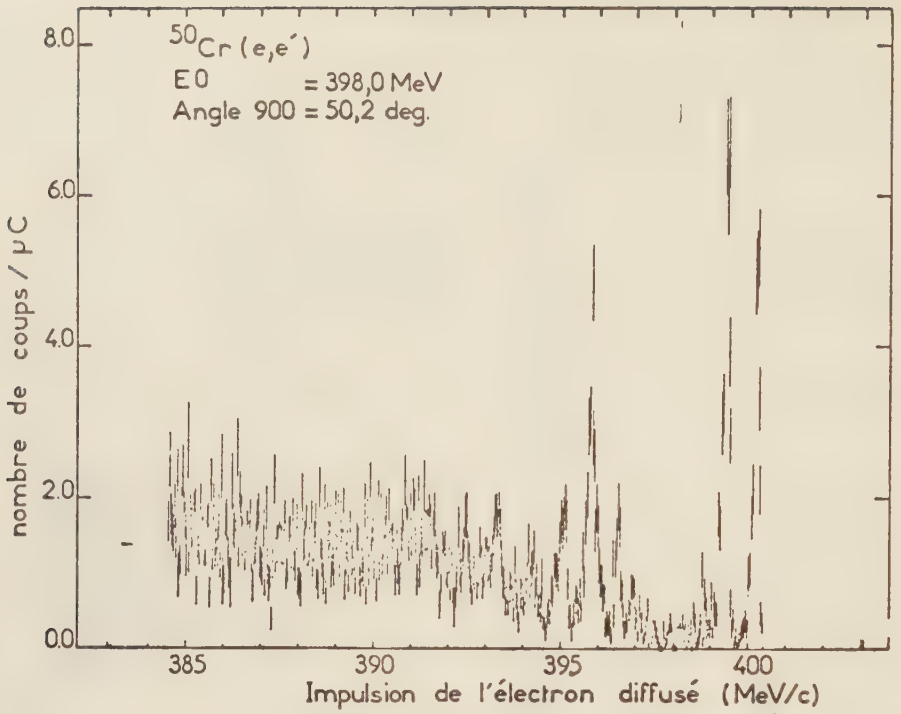


Fig. VII.3.1 - E totaux, E directifs sur ^{58}Ni.



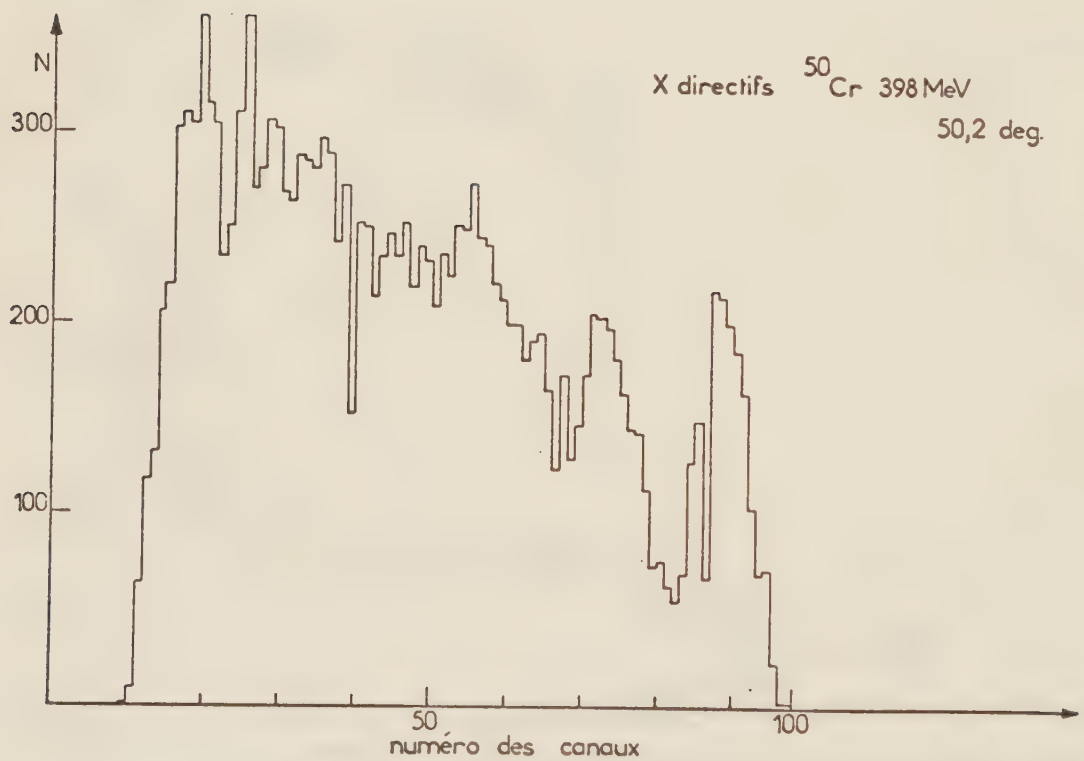
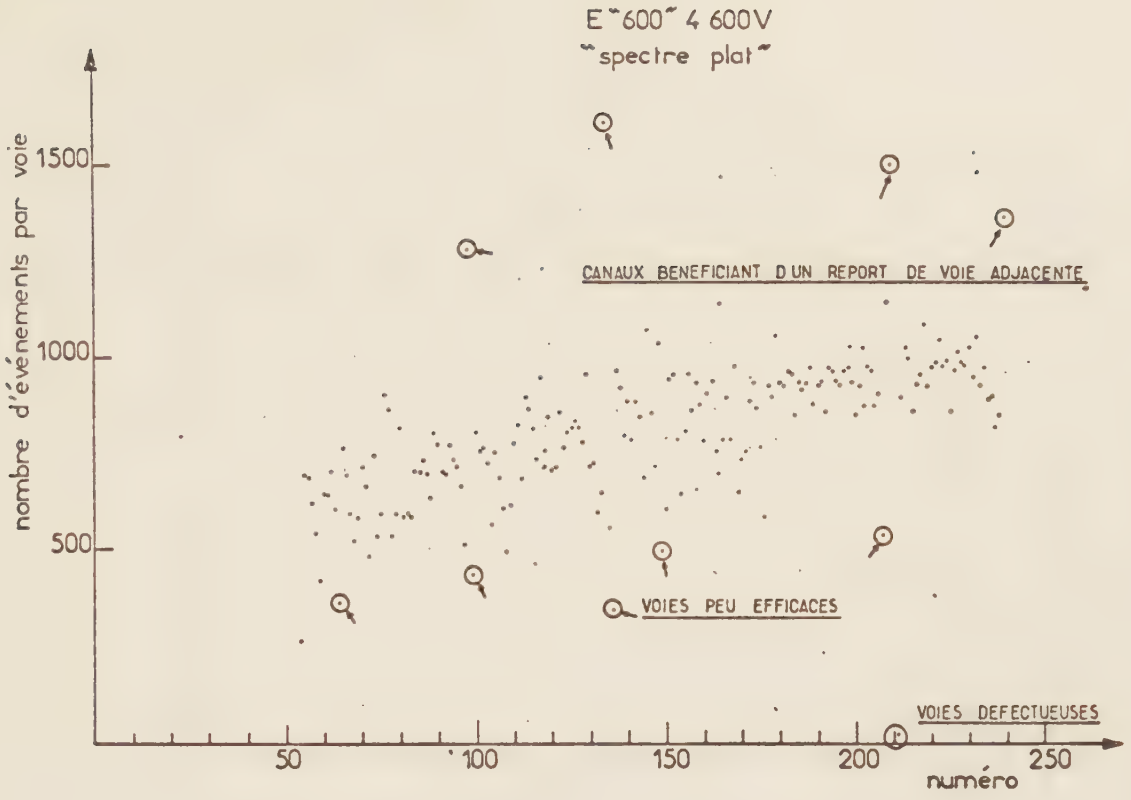


Fig. VII.3.2 (a,b) - Spectres relevés sur les chambres E"900" et X"900".



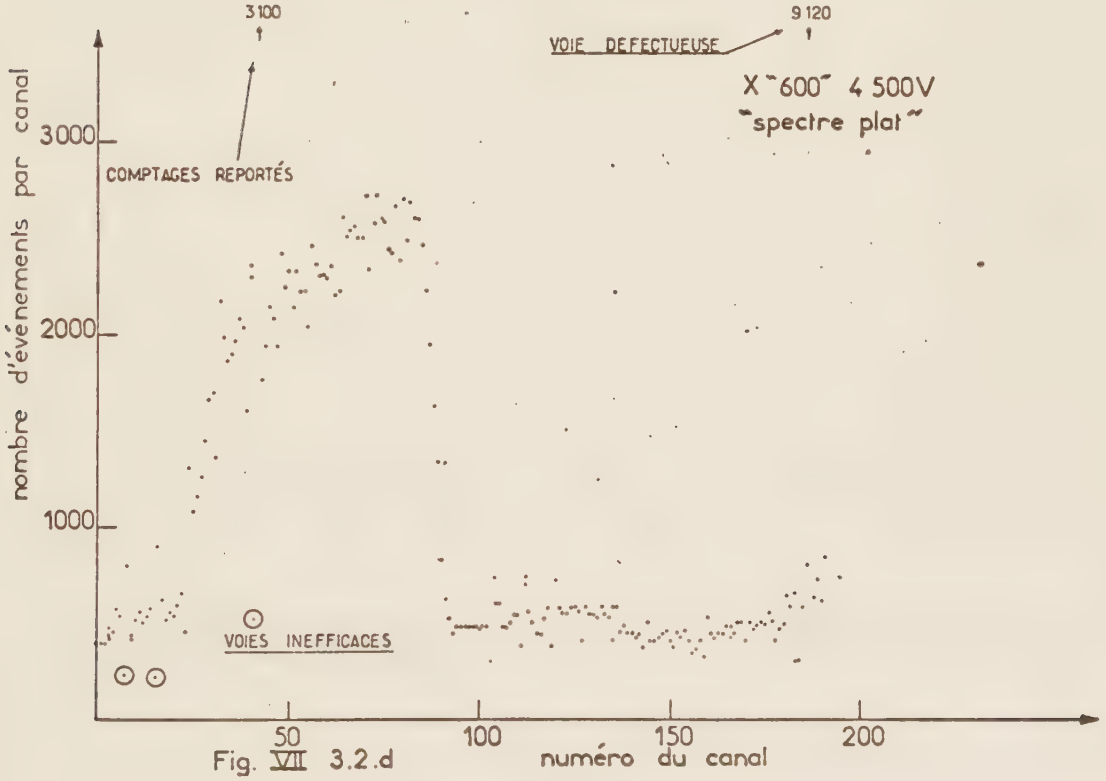


Fig. VII 3.2.d

Fig. VII.3.2 (c,d) - Spectres relevés sur les chambres E"600" et X"600".

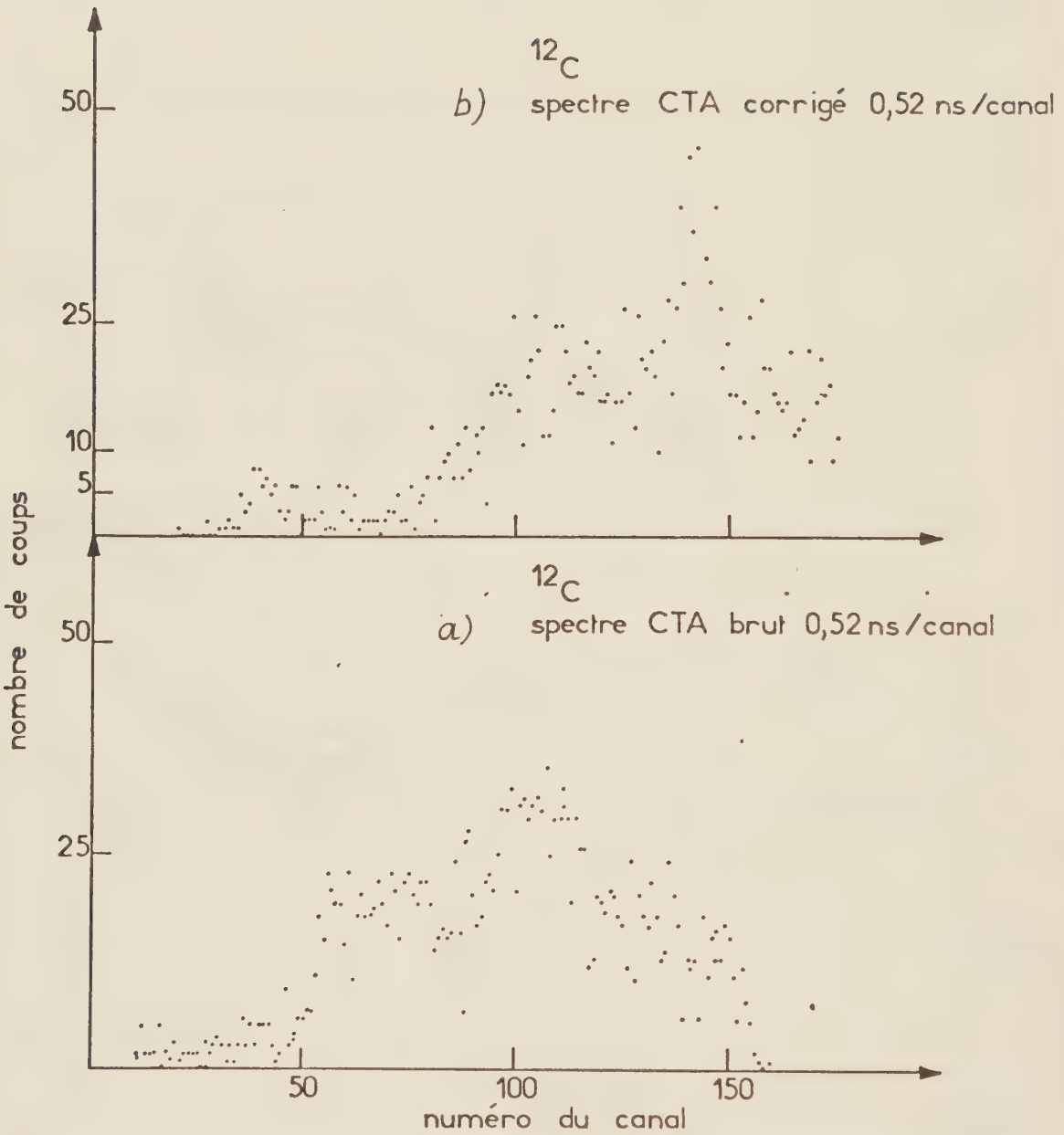


Fig. VII.3.3 (a,b) - Mesure de temps brute et corrigée.

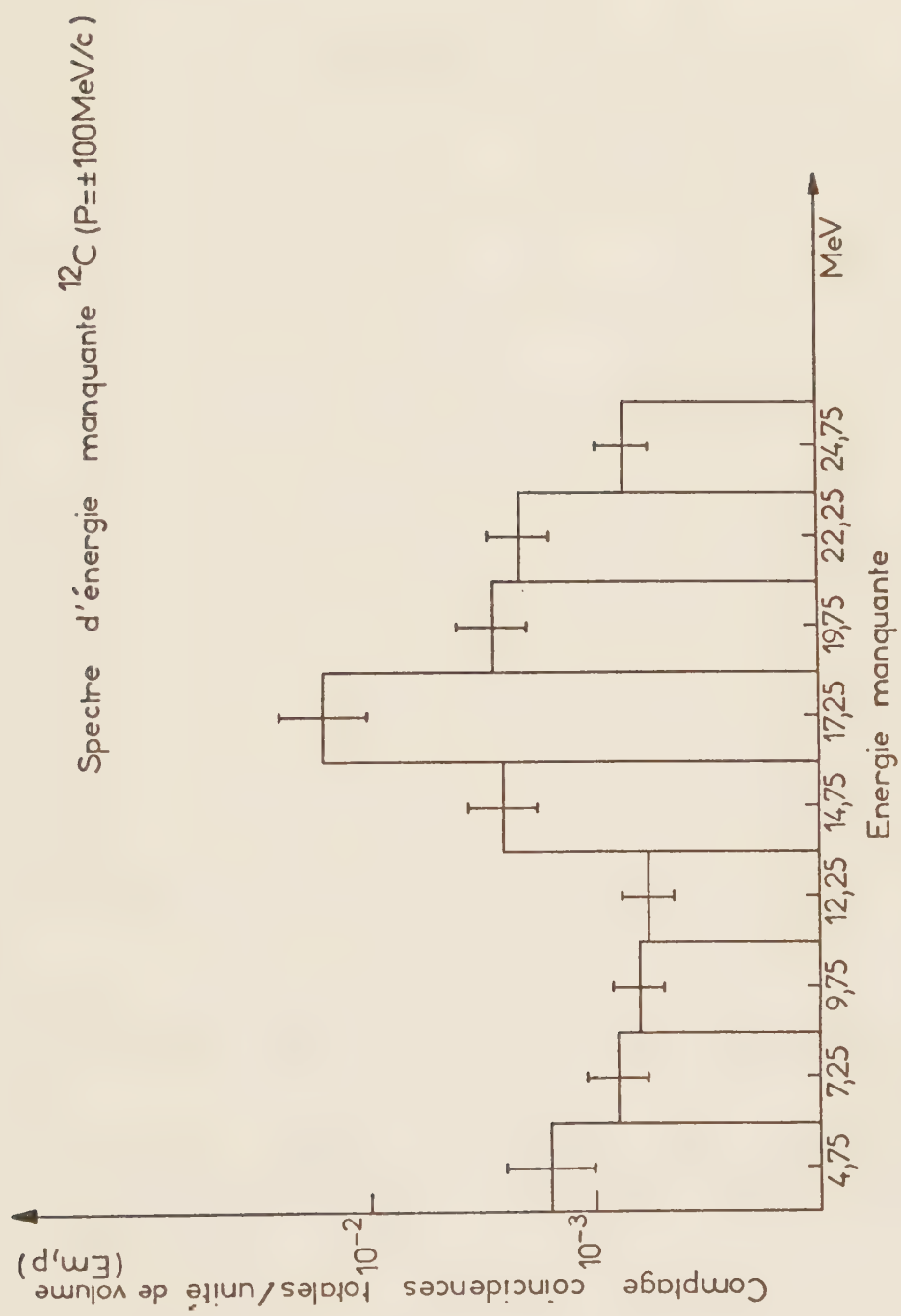


Fig. VII.3.4 - Spectre d'énergie manquante sur ^{12}C.

REFERENCES

[1] J.B. Bellicard and P. Barreau,
Study of chromium 52 by inelastic scattering.
Nucl. Phys. 60 (1964) 319-336.

[2] J. Heisenberg and I. Sick,
Transition density of the octupole vibration in ^{208}Pb determined by electron scattering.
Rapport HEPL 622, Stanford University.

[3] J. FRIEDRICH,
Investigation of some low lying states in ^{208}Pb by inelastic electron scattering.
Institut für Kernphysik, Universitat Mainz - RFA.

[4] T. Cooper, PhD thesis unpublished.
Electron scattering from some permanently deformed heavy nuclei.

[5] Phan X.H., J.B. Bellicard, P. Lecomte and I. Sick,
Inelastic electron scattering from even single closed shell nuclei.
Nucl. Phys. A210 (1973) 189-210.

[6] J.W. Lightbody and S. Penner,
A 12 channel semiconductor counter system for the NBS electron scattering spectrometer.
IEEE Trans. Nuclear Sciences, NS15 (1968) 419.

[7] L.R. Suelzle, PhD thesis unpublished
Physics Department Stanford University 1967.

[8] E. Auriol, O. Denoufbourg, J. Dupont, M. Lefebvre, G. Lemarchand, J. Millaud et A. Mougeot,
Compte rendu d'activité du Département de Physique Nucléaire (1970-1971) p. 198.

[9] E. Bloom et al.
A proportional chamber system for the SLAC 20 GeV spectrometer.
SLAC Pub. 981, November 1971.

[10] U. Amaldi, G. Campos-Venuti, G. Cortellessa, E. De Sanctis, S. Frullani, R. Lombard and P. Salvatori,
The (e,e'p) reaction in calcium induced by 580-750 MeV electrons
Phys. Letters, Vol. N. 5, p. 593.

[11] S. Hiramatsu, T. Kamae, H. Muramatsu, N. Nakamura, N. Izutsu and Y. Watase,
(e,e'p) reactions on ^{6,7}Li, ^{9}Be, ^{12}C, ^{27}Al, ^{40}Ca and ^{51}V.
Compte rendus de la conférence de Sendaï, Septembre 1972.

[12] M. Bernheim, A. Bussiere, A. Gillebert, J. Mougey, Phan X.H, M. Priou, D. Royer, I. Sick and G.J. Wagner,
^{12}C (e,e'p) results as a critical test of an Energy Sum Rule.
Phys. Rev. Letters, Vol. 32, N. 16, p. 898.

[13] L. Cohen, C. Grunberg et J. Le Devehat,
Compte rendu d'activité du Département de Physique Nucléaire (1970-1971), paragraphe III.2.2., p. 230 à 232.

[14] G. Charpak, F. Sauli and R. Duinker,
High accuraty drift chambers and their use in strong magnetic fields.
Nucl. Instr. Methods, 108 (1973) 413.

[15] R. Grove, K. Lee, V. Perez Mendez and J. Sperinde,
Electromagnetic delay line read out for proportional wire chambers.
Nucl. Instr. Methods, 89 (1970) 257.

[16] C. Borkowski and M.K. Kopp,
New type of position sensitive detector of ionizing radiation using rise time measurement.
Rev. of Scientific Instruments, 39 (1968) 1515.

[17] R. Chaminade, J.M. Durand, J.C. Faivre et J. Pain,
Chambre proportionnelle multifils à lecture par division de charge.
Nucl. Instr. Methods, 118 (1974) 477.

[18] G. Charpak, A. Jeavons, F. Sauli and R. Stubb,
High accuracy measurements of the centre of fravity of avalanches in proportional chambers. CERN 73-11.

[19] L. Cohen, C. Grunberg, J. Le Devehat,
Performances des chambres à fils remplies d'un mélange argon et bromure d'éthyle.
Rapport interne DPHN-HE 71/5.

[20] L. Cohen, C. Grunberg and J. Le Devehat,
Some properties of multiwire chambers filled with Argon-Ethyl bromide mixture.
Nucl. Instr. Methods, 103 (1972) 125.

[21] R. Bouclier et al.,
Proportional chambers for a 50000 wire detector.
Nucl. Instr. Methods, 115 (1974) 235-244.

[22] PDP 15 Interface manual
DEC-15-HOAB-D

[23] R.S. Larsen,
Interlaboratory Development of an integrated circuit for multi-wire proportional chambers.
SLAC Pub. 986, November 1971.

[24] S. Dawan,
A survey of proportional wire chambers and readout system.
IEEE transactions on Nuclear Sciences, Volume NS 20, number 1,
p. 166-171.

[25] S.R. Olson, F.A. Kirsten, E.P. Binnal, K/L. Lee, N.N. Bandhari and C.C. Nunnally,
A Modular Multiward read out system for proportional wire chambers.
IEEE NS 21, p. 851-856.

[26] R. Coombes, D. Fryberger, D. Hitlin, R. Piccioni, D. Porat, D. Dorfan,
A. data acquisition system for a large wire chamber spectrometer.
Nucl. Instr. Methods, 98 (1972) 317-328.

[27] J. Heisenberg, Communication privée.

[28] O. Deneufbourg, J. Millaud,
Traitement en ligne d'une expérience (e,e'p) avec un calculateur PDP 8 et un détecteur à chambres à fils.
Rapport interne DPHN/HE OD/MD 71/3.

[29] E. Auriol, M. Lefebvre, G. Lemarchand et J. Millaud,
Electronique associée aux détecteurs en salle HE1.
Rapport annuel du Département de Physique Nucléaire (1971-1972), p. 187-189.

Vu et approuvé

ORSAY, le 14 avril 1975

Le Vice-Président du Centre d'Orsay